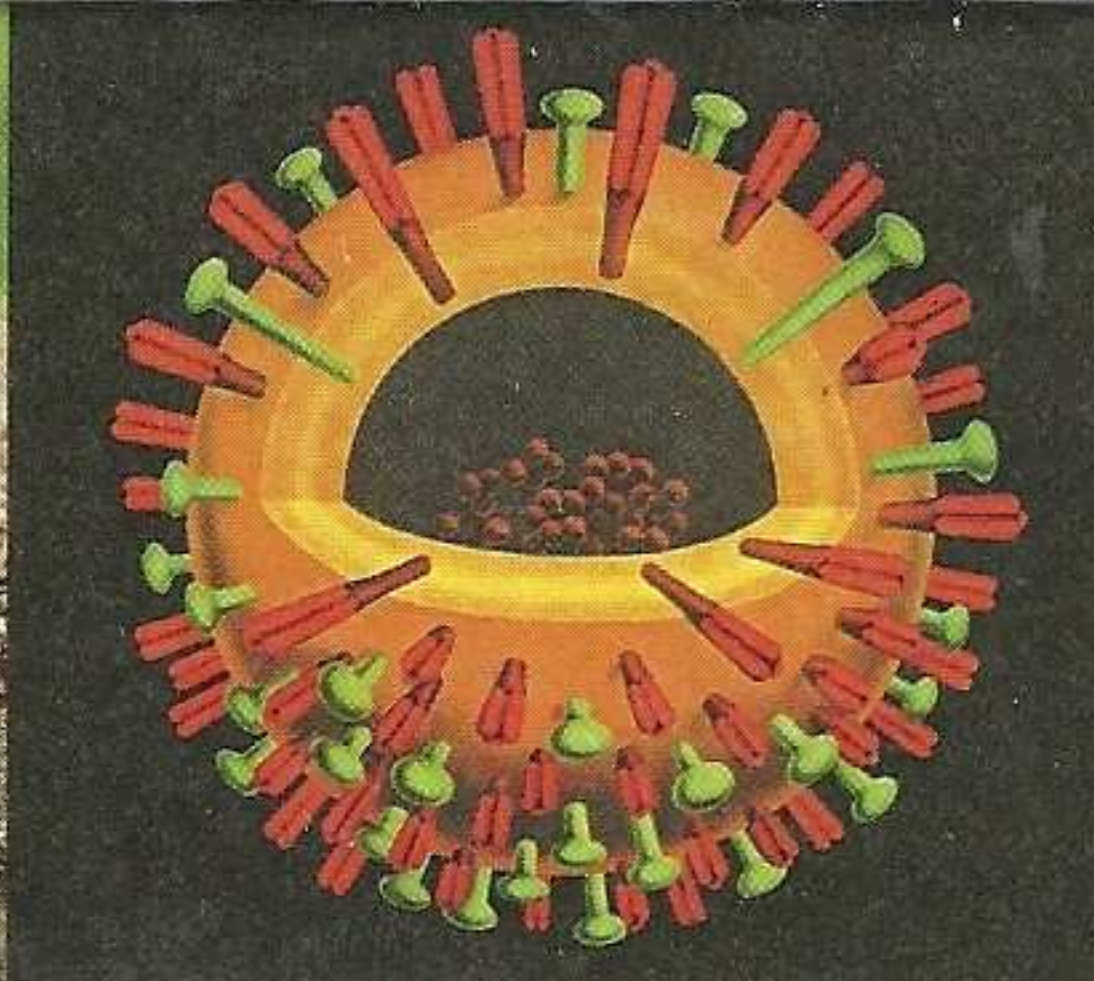




В. И. Сивоглазов, И. Б. Агафонова, Е. Т. Захарова

БИОЛОГИЯ

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10 11
классы



ДРОФА



УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я72
С34

Рецензенты:

доктор биол. наук, профессор *М. М. Асланян* (МГУ);
кандидат биол. наук, преподаватель биологии *Е. Р. Серебрякова*
(Московская экономическая школа);
кандидат пед. наук, доцент *П. М. Скворцов* (МИОО)

Сивоглазов, В. И.

С34 Биология. Общая биология. Базовый уровень : учеб. для 10—11 кл. общеобразовательных учреждений / В. И. Сивоглазов, И. Б. Агафонова, Е. Т. Захарова ; под ред. акад. РАЕН, проф. В. Б. Захарова. — 6-е изд., доп. — М. : Дрофа, 2010. — 381, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-358-08851-1

Учебник соответствует базовому уровню Федерального компонента государственного стандарта общего образования по биологии и рекомендован Министерством образования и науки РФ.

Учебник адресован учащимся 10—11 классов общеобразовательных учреждений и завершает линию Н. И. Сониной. Однако особенности изложения материала позволяют использовать его на завершающем этапе изучения биологии после учебников всех существующих линий.

УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я72

ISBN 978-5-358-08851-1

© ООО «Дрофа», 2005
© ООО «Дрофа», 2010, с изменениями

Как работать с учебником

Уважаемые старшеклассники!

Вы уже знакомы со многими закономерностями общей биологии. Данный учебник не является повторением известного вам материала. Опираясь на ваши знания, мы рассказываем вам новое, одновременно повторяя и углубляя известное ранее.

Весь материал курса разделен на пять глав. Первая глава — вводная. Она посвящена изучению и повторению сущности и свойств живого, уровней организации и методов познания живой природы. Следующие четыре главы соответствуют уровням организации живой материи: клетка, организм, вид и экосистема. Мысленно переходя с уровня на уровень, вы узнаете процессы и явления, происходящие на них.

Приступая к изучению нового материала, просмотрите соответствующий **параграф** учебника. Обратите внимание на его структуру, изучите подзаголовки. Это напомнит вам о том, что вы слышали на уроке. Прочитайте параграф. Пусть вас не пугает его объем. Материал учебника насыщен разнообразными примерами, историческими справками, сообщениями о новых открытиях. Можно было написать коротко и сухо, выжать одни определения и термины. Но было бы интересно это читать?

Красочные *рисунки, слайды, электронные фотографии* помогут вам разобраться в новом материале. *Понятия и законы*, на которые необходимо обратить особое внимание, выделены в тексте курсивом. Прочитайте *дополнительный материал*, помещенный в рамке. В конце параграфа вы найдете *вопросы и задания*, которые помогут вам повторить изученный материал. В конце каждой главы приведены *вопросы для обсуждения*. Используйте их для углубления собственных знаний.

Введение

Биология — наука о жизни. Ее название произошло от двух греческих слов: *bios* (жизнь) и *logos* (наука, слово). Слово о жизни... Какая наука имеет более глобальное название?... Изучая биологию, человек познает самого себя как индивидуума и как члена определенной популяции, как представителя вида *Homo sapiens* и как типичного млекопитающего, он может ощутить себя элементом определенной экосистемы и неотъемлемой частью биосферы. Задумавшись о строении своего тела, о тех принципах и свойствах, которые лежат в основе функционирования каждой клетки, каждого органа, человек все равно не перестанет ощущать себя индивидуумом: свойство целого не есть простая сумма свойств его частей.

Любого из нас на протяжении всей нашей жизни окружает жизнь в самых различных ее проявлениях. И право на жизнь, которое мы получили, столь же незыблемо, как и право на жизнь любого другого живого существа. Все мы, живущие вместе на одной планете Земля, — члены одной большой команды — биосферы. И у каждого из нас своя роль, своя задача и своя судьба, которую мы во многом определяем сами и которая зависит от всех нас. Мы в ответе за нашу Землю, мы в ответе за жизнь нашей Земли. И для того чтобы сохранять и приумножать жизнь, мы должны быть мудрыми, должны знать основные принципы, законы и свойства, которые обеспечивают существование этой жизни и которые определяют саму жизнь.

Наука о жизни должна стать неотъемлемой частью мировоззрения каждого современного человека, независимо от его специальности. Основные биологические теории и гипотезы, формирующие естественно-научную систему мира, являются обязательным элементом интеллектуального багажа наших современников. Только на основе биологических знаний возможно решение глобальных задач человечества.

Быстрый рост населения нашей планеты и связанное с ним увеличение потребности в продуктах питания требуют интенсификации сельского хозяйства. Продуманное рациональное природопользование, организация правильных севооборотов, создание новых высокопродуктивных форм микроорганизмов, растений и животных, биологические способы борьбы с вредителями — все это должно решить одну из основных проблем современности — проблему дефицита пищевых ресурсов.

Незнание или игнорирование законов биологии приводит к тяжелым последствиям. Глобальное загрязнение биосферы нарушает сложившееся в природе равновесие и грозит гибелью многим организмам. Здоровье человечества находится в прямой зависимости от здоровья биосферы, поэтому экологическое мышление должно стать нормой жизни современного общества.

Все больше в современном промышленном производстве используют живые организмы, биологические системы и биологические процессы. Развивается микробиологический синтез ферментов, витаминов, антибиотиков. С помощью методов генной и клеточной инженерии получают многие биологически активные вещества. Методы генотерапии и клеточные технологии, в том числе и использование стволовых клеток, позволяют разрабатывать способы лечения и коррекции состояния больных с наследственными заболеваниями.

Создание современных биотехнологий, решение экологических задач, проблемы здоровья человека и увеличения продолжительности жизни — все это, так или иначе, касается каждого жителя Земли.

В настоящее время высокий уровень развития делает биологию реальной производительной силой, а по уровню биологических теоретических и прикладных исследований можно судить о материально-техническом развитии общества.

Вы приступаете к изучению биологии в старшей школе, уже имея большой запас знаний. Химия и физика, география и анатомия, история и ботаника — нельзя отделить эти науки друг от друга. Они связаны между собой тысячами общих судеб, методов, открытий. Как рассказать о селекции, не вспомнив путешествия Н. И. Вавилова и географию материков? Можно ли объяснить строение и функции нуклеиновых кислот, не используя знания химии? Распределение биомассы в биосфере станет еще более понятным, если мы обратимся к законам физики. Вспоминая работы Аристотеля, Геродота, Галена, мы погружаемся в историю.

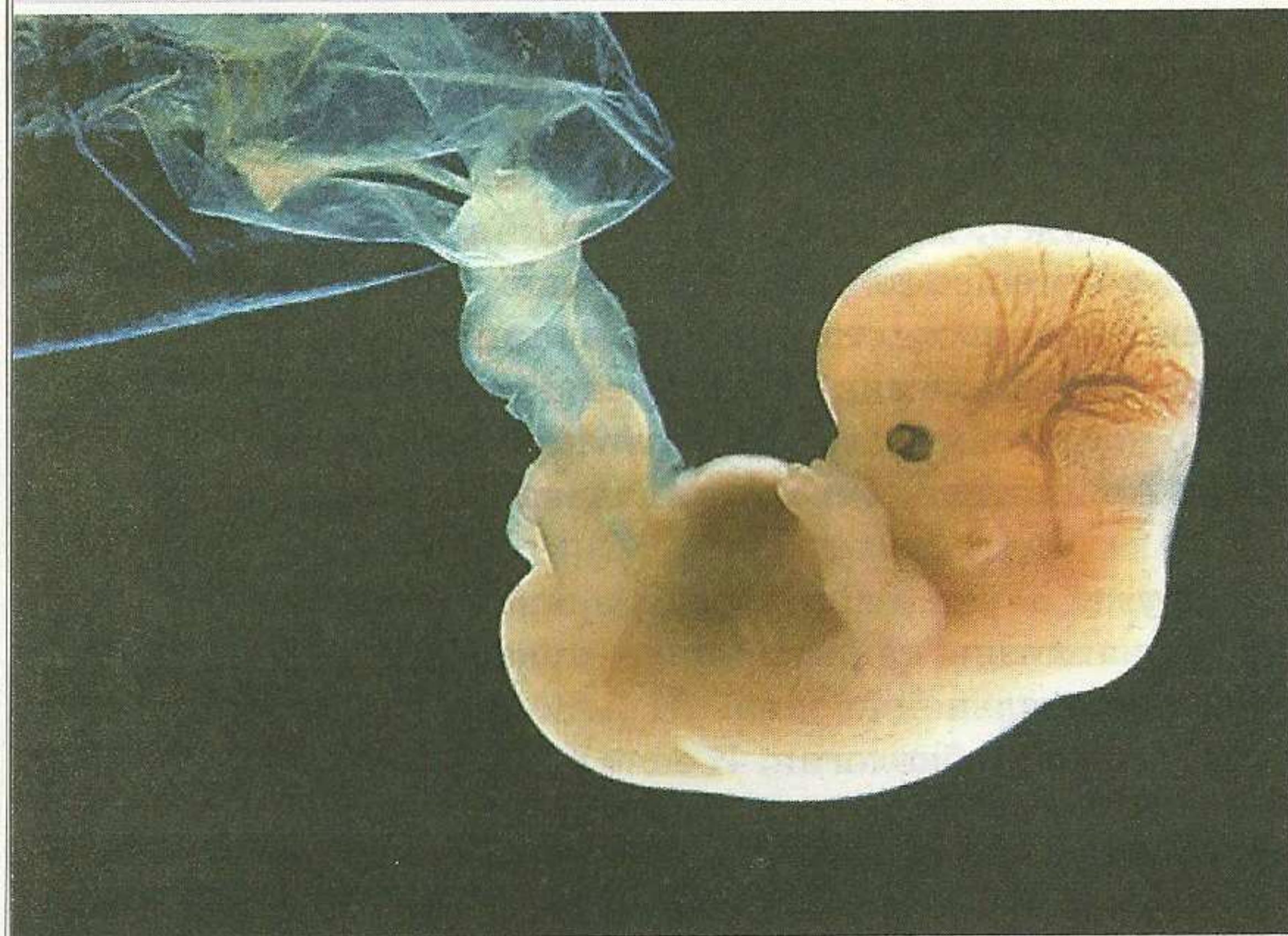
Биология, как и любая другая наука, опирается на знания всего человечества. Ваши знания, ваша жизнь, так или иначе, прямо или косвенно будут связаны с этой удивительной наукой.

Мы желаем вам успеха в изучении биологии. И если в процессе учебы вы почувствуете, что эта книга не об абстрактных понятиях и законах, а о вас, о вашей жизни и о вашем будущем, значит, мы не зря написали этот учебник.

ГЛАВА

1

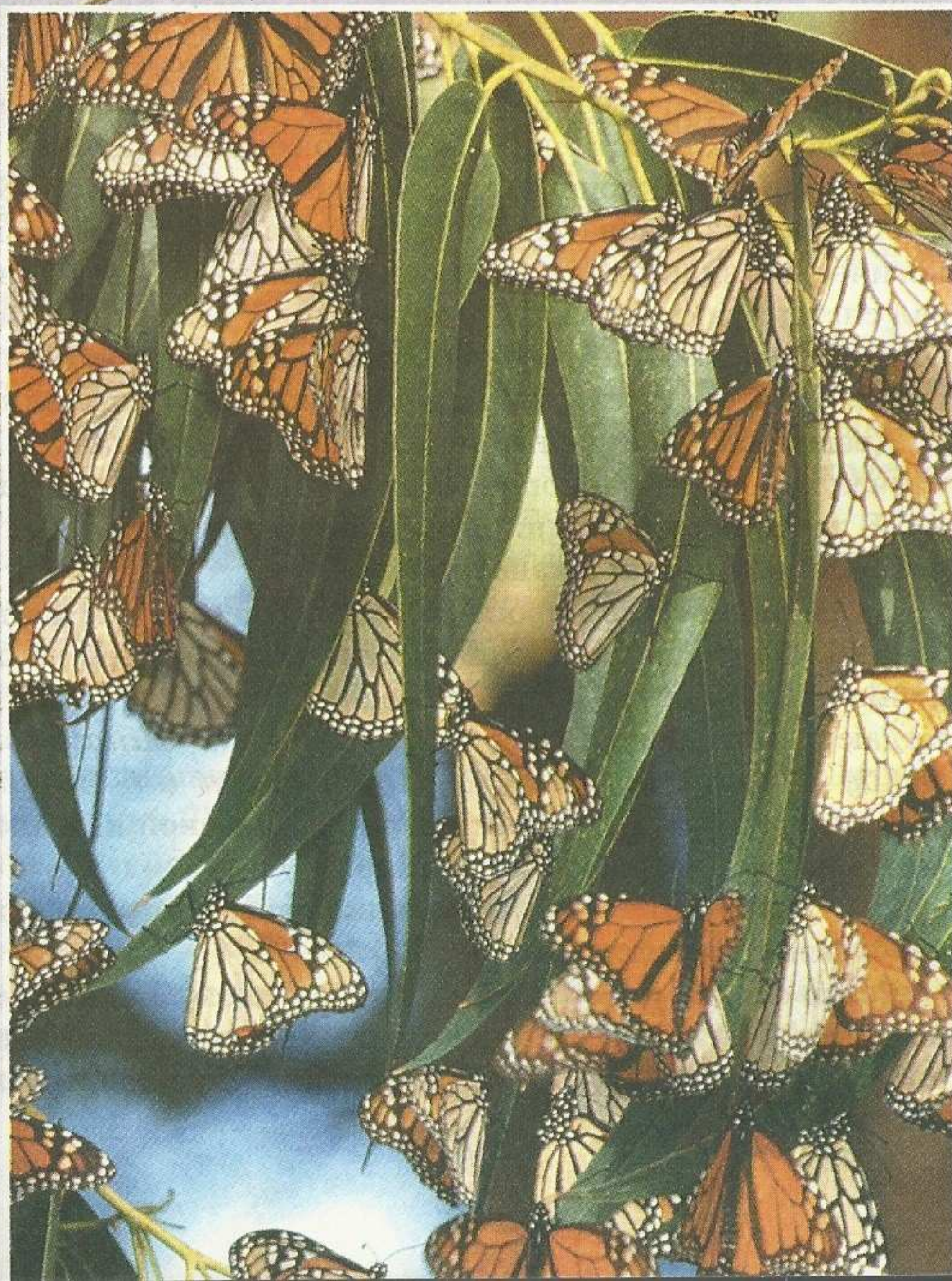
Биология как наука. Методы научного познания



ТЕМЫ

*Краткая история развития биологии.
Система биологических наук*

*Сущность и свойства живого.
Уровни организации
и методы познания живой природы*



1.1. Краткая история развития биологии

Вспомните!

Какие достижения современной биологии вам известны?
Каких ученых-биологов вы знаете?

Современная биология уходит корнями в глубокую древность, мы находим ее истоки в цивилизациях прошлых тысячелетий: в Древнем Египте, Древней Греции.

Первым ученым, создавшим научную медицинскую школу, был древнегреческий врач *Гиппократ* (ок. 460 — ок. 370 до н. э.). Он считал, что у каждой болезни есть естественные причины, и их можно узнать, изучая строение и жизнедеятельность человеческого организма. С древних времен и по сей день врачи торжественно произносят «клятву Гиппократа», обещая хранить врачебную тайну и ни при каких обстоятельствах не оставлять больного без медицинской помощи.

Великий энциклопедист древности *Аристотель* (384 — 322 до н. э.) стал одним из основателей биологии как науки, впервые обобщив биологические знания, накопленные до него человечеством. Он разработал систематику животных, определив в ней место и человеку, которого он называл «общественным животным, наделенным разумом». Многие труды Аристотеля были посвящены происхождению жизни.

Древнеримский ученый и врач *Клавдий Гален* (ок. 130 — ок. 200), изучая строение млекопитающих, заложил основы анатомии человека. В течение следующих пятнадцати веков его труды были основным источником знаний по анатомии.

В Средние века в Европе воцарился период застоя во всех областях знаний. В это время традиции античных авторов нашли свое продолжение в странах Передней и Средней Азии, где жили и творили такие выдающиеся ученые, как *Абу Али Ибн Сина (Авиценна)* (XI в.) и *Абу Рейхан Мухаммед Ибн Ахмет аль-Бируни* (973—1048). От того времени в современной анатомической номенклатуре сохранилось множество арабских терминов.

Наступление эпохи Возрождения ознаменовало начало нового периода в развитии биологии.

Резко возрос интерес к биологии в эпоху Великих географических открытий (XV в.). Открытие новых земель, налаживание торговых отношений между государствами расширяли сведения о животных и рас-

тениях. Ботаники и зоологи описывали множество новых, неизвестных ранее видов организмов, принадлежащих к различным царствам живой природы.

Один из самых замечательных людей этой эпохи *Леонардо да Винчи* (1452—1519) описал многие растения, изучал строение человеческого тела, деятельность сердца и зрительную функцию.

После того как был снят церковный запрет на вскрытие человеческого тела, блестящих успехов достигла анатомия человека, что получило отражение в классическом труде *Андреаса Везалия* (1514—1564) «О строении человеческого тела». Величайшее научное достижение — открытие кровообращения — совершил в XVII в. английский врач и биолог *Уильям Гарвей* (1578—1657).

Новую эру в развитии биологии ознаменовало изобретение в конце XVI в. микроскопа. Уже в середине XVII в. была открыта клетка, а позднее обнаружен мир микроскопических существ — простейших и бактерий, изучено развитие насекомых и принципиальное строение сперматозоидов.

В XVIII в. шведский натуралист *Карл Линней* (1707—1778) предложил систему классификации живой природы и ввел бинарную (двойную) номенклатуру для наименования видов.

Карл Эрнст Бэр (*Карл Максимович Бэр*) (1792—1876), профессор Петербургской медико-хирургической академии, изучая внутриутробное развитие, установил, что зародыши всех животных на ранних этапах развития схожи, сформулировал закон зародышевого сходства и вошел в историю науки как основатель эмбриологии.

Первым биологом, который попытался создать стройную и целостную теорию эволюции живого мира, стал французский ученый *Жан Батист Ламарк* (1774—1829). Палеонтологию, науку об ископаемых животных и растениях, создал французский зоолог *Жорж Кювье* (1769—1832).

Огромную роль в понимании единства органического мира сыграла клеточная теория зоолога *Теодора Шванна* (1818—1882) и ботаника *Матиаса Якоба Шлейдена* (1804—1881).

Крупнейшим достижением XIX в. стало эволюционное учение *Чарльза Дарвина* (1809—1882), которое имело определяющее значение в формировании современной естественнонаучной картины мира.

Основоположником генетики, науки о наследственности и изменчивости, стал *Грегор Иоганн Мендель* (1822—1884), работы которого

настолько опередили свое время, что были не поняты современниками и открыты заново спустя 35 лет.

Одним из основателей современной микробиологии стал немецкий ученый *Роберт Кох* (1843—1910), а труды *Луи Пастера* (1822—1895) и *Ильи Ильича Мечникова* (1845—1916) определили появление иммунологии.

Развитие физиологии связано с именами великих российских ученых *Ивана Михайловича Сеченова* (1829—1905), заложившего основы изучения высшей нервной деятельности, и *Ивана Петровича Павлова* (1849—1936), создавшего учение об условных рефлексах.

XX в. ознаменовался бурным развитием биологии. Мутационная теория *Гуго де Фриза* (1848—1935), хромосомная теория наследственности *Томаса Ханта Моргана* (1866—1943), учение о факторах эволюции *Ивана Ивановича Шмальгаузена* (1884—1963), учение о биосфере *Владимира Ивановича Вернадского* (1863—1945), открытие антибиотиков *Александром Флемингом* (1881—1955), установление структуры ДНК *Джеймсом Уотсоном* (род. 1928) и *Френсисом Криком* (1916—2004) — невозможно перечислить всех тех, кто своим самоотверженным трудом создавал современную биологию, которая в настоящее время является одной из наиболее бурно развивающихся областей человеческого знания.

Система биологических наук. Современная биология — это совокупность естественных наук, изучающих жизнь как особую форму существования материи. Одними из первых в биологии сложились комплексные науки: зоология, ботаника, анатомия и физиология. Позднее внутри них сформировались более узкие дисциплины, например внутри зоологии появилась ихтиология (наука о рыбах), энтомология (о насекомых), арахнология (о пауках) и т. д. Многообразие организмов изучает систематика, историю живого мира — палеонтология. Различные свойства живого являются предметом исследования таких наук, как генетика (закономерности изменчивости и наследственности), этология (поведение), эмбриология (индивидуальное развитие), эволюционное учение (историческое развитие).

В середине XX в. в биологию начали активно проникать методы и идеи других естественных наук. На границах смежных дисциплин возникали новые биологические направления: биохимия, биофизика, биогеография, молекулярная биология, космическая биология и многие другие. Широкое внедрение математики в биологию вызвало рож-

дение биометрии. Успехи экологии, а также все более актуальные проблемы охраны природы способствовали развитию экологического подхода в большинстве отраслей биологии.

На рубеже XX и XXI вв. с огромной скоростью начала развиваться биотехнология — направление, которому несомненно принадлежит будущее. Последние достижения в этой области открывают широкие перспективы для создания биологически активных веществ и новых лекарственных препаратов, для лечения наследственных заболеваний и осуществления селекции на клеточном уровне.

В настоящее время биология стала реальной производительной силой, по развитию которой можно судить об общем уровне развития человеческого общества.

Вопросы для повторения и задания

1. Расскажите о вкладе в развитие биологии древнегреческих и древнеримских философов и врачей.
2. Охарактеризуйте особенности воззрений на живую природу в Средние века, эпоху Возрождения.
3. Какое изобретение XVII в. дало возможность открыть и описать клетку?
4. Каково значение для биологической науки работ Л. Пастера и И. И. Мечникова?
5. Перечислите основные открытия, сделанные в биологии в XX в.
6. Назовите известные вам естественные науки, составляющие биологию. Какие из них возникли в конце XX в.?

1.2. Сущность жизни и свойства живого

Вспомните!

Каково происхождение названия науки биологии?

Что вам известно о свойствах и сущности жизни?

Сущность жизни. Что такое жизнь, основной объект изучения биологии? Где та грань, которая отделяет живое от неживого, распределяет по разным категориям гору и растущее на ней дерево, реку и живущую в ней рыбу? Жизнь как явление природы — величайшая загадка, которую человечество пытается решить уже многие тысячи лет.

В IV в. до н. э. великий греческий ученый Аристотель предположил, что живое становится живым благодаря специальной силе, которая заставляет семя прорасти, рыбу плыть, птицу откладывать яйца. Спустя два с лишним тысячелетия в начале XIX в. немецкий естествоиспытатель Готфрид Рейнхольд Тревиранус ввел понятие «vis vitalis» — жизненная сила. Этот термин дал название философскому направлению — витализму.

С развитием органической химии многие ученые пытались объяснить отличия живого от неживого с помощью химических формул. Именно к этому периоду относится классическое определение Фридриха Энгельса: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка».

На протяжении XX в. делалось много попыток дать максимально полное и корректное определение сущности жизни:

- совокупность специфических физико-химических процессов;
- особая форма существования материи;
- активное, идущее с затратой полученной извне энергии поддержание и воспроизведение специфической структуры;
- процесс обмена веществ;
- самовоспроизводящийся процесс, который прекращается с разрушением определенной структуры организации.

Существование этих и многих других определений демонстрирует, как сложно дать однозначное определение жизни. ■

В самом общем смысле жизнь можно определить как активное, идущее с затратой полученной извне энергии поддержание и самовоспро-

изведение специфической структуры, обязательными компонентами которой являются белки и нуклеиновые кислоты.

Свойства живого. Не придя к единому универсальному определению, ученые договорились характеризовать жизнь целым комплексом свойств и признаков, совокупность которых позволяет определить ту самую границу, которая отделяет живое от неживого.

■ Российский академик Владимир Александрович Энгельгард считал, что «именно в способности живого создавать порядок из теплового движения молекул состоит наиболее глубокое, коренное отличие живого от неживого». В неживой природе энергия рассеивается, что приводит к снижению упорядоченности, т. е. к возрастанию энтропии.

Рассмотрим основные свойства живой материи.

Единство элементного химического состава. В состав живого входят те же элементы, что и в состав неживой природы, но в других количественных соотношениях; при этом примерно 98% приходится на углерод, водород, кислород и азот.

Единство биохимического состава. Все живые организмы состоят в основном из белков, липидов, углеводов и нуклеиновых кислот.

Единство структурной организации. Единицей строения, жизнедеятельности, размножения, индивидуального развития является клетка; вне клетки жизни нет.

Дискретность и целостность. Любая биологическая система состоит из отдельных взаимодействующих частей (молекулы, органоиды, клетки, ткани, организмы, виды и т. д.), которые вместе образуют структурно-функциональное единство.

Обмен веществ и энергии (метаболизм). Обмен веществ состоит из двух взаимосвязанных процессов: *ассимиляции* (пластического обмена) — синтеза органических веществ в организме (за счет внешних источников энергии — света, пищи) и *диссимиляции* (энергетического обмена) — процесса распада сложных органических веществ с выделением энергии, которая затем расходуется организмом.

Саморегуляция. Любые живые организмы обитают в постоянно изменяющихся условиях окружающей среды. Благодаря способности к саморегуляции в процессе метаболизма сохраняются относительное постоянство химического состава и интенсивность течения физиологических процессов, т. е. поддерживается *гомеостаз*.

Открытость. Все живые системы являются открытыми, потому что в процессе их жизнедеятельности между ними и окружающей средой происходит постоянный обмен веществом и энергией (рис. 1).

Размножение. Размножение — это способность организмов воспроизводить себе подобных. В основе воспроизведения лежат реакции матричного синтеза, т. е. образование новых молекул и структур на основе информации, заложенной в последовательности нуклеотидов ДНК. Это свойство обеспечивает непрерывность жизни и преемственность поколений.

Наследственность и изменчивость. Наследственность — способность организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Основой наследственности является относительное постоянство строения молекул ДНК.



Рис. 1. Закрытая (А) и открытая (Б) системы

Изменчивость — свойство, противоположное наследственности; способность живых организмов существовать в различных формах, т. е. приобретать новые признаки, отличные от качеств других особей того же вида. Изменчивость, обусловленная изменениями наследственных задатков — генов, создает разнообразный материал для естественного отбора, т. е. отбора особей, наиболее приспособленных к конкретным условиям существования в природе. Это приводит к появлению новых форм жизни, новых видов организмов.

Рост и развитие. Индивидуальное развитие, или *онтогенез*, — развитие живого организма от зарождения до момента смерти. В процессе онтогенеза постепенно и последовательно проявляются индивидуальные свойства организма. В основе этого лежит поэтапная реализация наследственных программ. Индивидуальное развитие обычно сопровождается ростом.

Историческое развитие, или *филогенез*, — необратимое направленное развитие живой природы, сопровождающееся образованием новых видов и прогрессивным усложнением жизни.

Раздражимость и движение. Раздражимость — это способность организма избирательно реагировать на внешние и внутренние воздей-

ствия, т. е. воспринимать раздражение и отвечать определенным образом. Ответная реакция организма на раздражение, осуществляемая при участии нервной системы, называется *рефлексом*.

Организмы, у которых отсутствует нервная система, отвечают на воздействие изменением характера движения или роста, например листья растений поворачиваются к свету.

Ритмичность. Суточные и сезонные ритмы направлены на приспособление организмов к меняющимся условиям существования. Наиболее известным ритмическим процессом в природе является чередование периодов сна и бодрствования.

Некоторые отдельные свойства, рассмотренные нами, могут встречаться и в неживой природе — сталактиты растут, вода в реке движется, чередуются приливы и отливы. Но в совокупности все перечисленные свойства характерны только для живых организмов.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое жизнь? Попробуйте дать свое определение.
2. Перечислите основные свойства живой материи.
3. Объясните, в чем, по вашему мнению, заключаются принципиальные различия обмена веществами в неживой природе и у живых организмов.
4. Каким образом связаны наследственность, изменчивость и репродукция в обеспечении жизни на Земле?
5. Дайте определение понятия «развитие». Какие формы развития вы знаете?
6. Что такое раздражимость? Каково значение избирательной реакции организмов для их приспособления к условиям существования?
7. В чем значение ритмичности процессов жизнедеятельности?

1.3. Уровни организации живой материи. Методы биологии

Вспомните!

Какие уровни организации живой материи вам известны?
Какие вы знаете методы научных исследований?

Уровни организации живой материи. Окружающий нас мир живых существ — это совокупность биологических систем разной степени сложности, образующих единую иерархическую структуру. Причем

следует отчетливо представлять, что взаимосвязь отдельных биологических систем, принадлежащих к одному уровню организации, формирует качественно новую систему. Одна клетка и множество клеток, один организм и группа организмов — разница не только в количестве. Совокупность клеток, обладающих общим строением и функцией, — это качественно новое образование — ткань. Группа организмов — это семья, стая, популяция, т. е. система, обладающая совершенно иными свойствами, нежели простое механическое суммирование свойств нескольких особей.

В процессе эволюции происходило постепенное усложнение организации живой материи. При образовании более сложного уровня предыдущий уровень, возникший ранее, входил в него как составная часть. Именно поэтому уровневая организация и эволюция являются отличительными признаками живой природы. В настоящее время жизнь как особая форма существования материи представлена на нашей планете несколькими уровнями организации (рис. 2).

Молекулярно-генетический уровень. Как бы сложно ни была организована любая живая система, в ее основе лежит взаимодействие биологических макромолекул: нуклеиновых кислот, белков, углеводов, а также других органических веществ. С этого уровня начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности организма: кодирование и передача наследственной информации, обмен веществ, превращение энергии.

Клеточный уровень. Клетка — это структурно-функциональная единица всего живого. Существование клетки лежит в основе размножения, роста и развития живых организмов. Вне клетки жизни нет, а существование вирусов только подтверждает это правило, потому что они могут реализовывать свою наследственную информацию только в клетке.

Тканевый уровень. Ткань — это совокупность клеток и межклеточного вещества, объединенных общностью происхождения, строения и выполняемой функции. В животных организмах выделяют четыре основных типа ткани: эпителиальную, соединительную, мышечную и нервную. В растениях различают образовательные, покровные, проводящие, механические, основные и выделительные (секреторные) ткани.

Органный уровень. Орган — это обособленная часть организма, имеющая определенную форму, строение, расположение и выполняю-

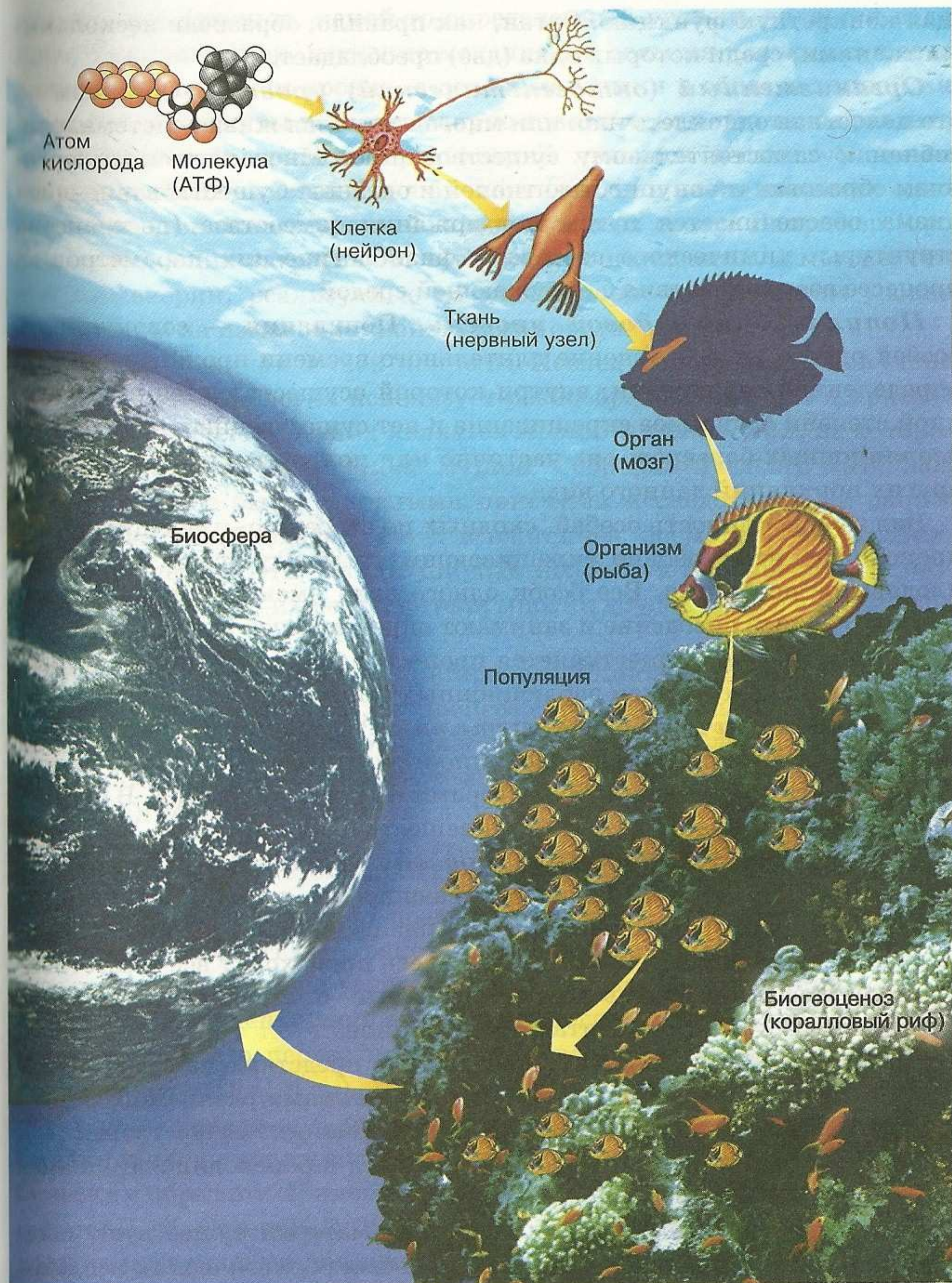


Рис. 2. Уровни организации живой материи

щая конкретную функцию. Орган, как правило, образован несколькими тканями, среди которых одна (две) преобладает.

Организменный (онтогенетический) уровень. Организм — это целостная одноклеточная или многоклеточная живая система, способная к самостоятельному существованию. Многоклеточный организм образован совокупностью тканей и органов. Существование организма обеспечивается путем поддержания гомеостаза (постоянства структуры, химического состава и физиологических параметров) в процессе взаимодействия с окружающей средой.

Популяционно-видовой уровень. Популяция — совокупность особей одного вида, в течение длительного времени проживающих на определенной территории, внутри которой осуществляется в той или иной степени случайное скрещивание и нет существенных внутренних изоляционных барьеров; она частично или полностью изолирована от других популяций данного вида.

Вид — совокупность особей, сходных по строению, имеющих общее происхождение, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство. Все особи одного вида имеют одинаковый кариотип, сходное поведение и занимают определенный ареал.

На этом уровне осуществляется процесс видообразования, который происходит под действием эволюционных факторов.

Биогеоценотический (экосистемный) уровень. Биогеоценоз — исторически сложившаяся совокупность организмов разных видов, взаимодействующая со всеми факторами их среды обитания. В биогеоценозах осуществляется круговорот веществ и энергии.

Биосферный (глобальный) уровень. Биосфера — биологическая система высшего ранга, охватывающая все явления жизни в атмосфере, гидросфере и литосфере, которая объединяет все биогеоценозы (экосистемы) в единый комплекс. Здесь происходят все вещественно-энергетические круговороты, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов, обитающих на Земле.

Таким образом, жизнь на нашей планете представлена саморегулирующимися и самовоспроизводящимися системами различного ранга, открытыми для вещества, энергии и информации. Существование и взаимодействие этих систем обеспечивается происходящими в них процессами жизнедеятельности и развития.

На каждом уровне организации живой материи существуют свои специфические особенности, поэтому в любых биологических исследо-

ваниях, как правило, какой-то определенный уровень является ведущим. Так, например, изучение механизмов деления клетки осуществляется на клеточном уровне, а основные успехи в области генной инженерии достигнуты на молекулярно-генетическом. Но такое разделение проблем по уровням организации является весьма условным, потому что большинство задач биологии так или иначе касаются одновременно нескольких уровней, а порой и всех сразу. Например, проблемы эволюции затрагивают все уровни организации, а методы генной инженерии, реализуемые на молекулярно-генетическом уровне, направлены на изменение свойств всего организма.

Методы познания живой природы. Исследуя системы разной степени сложности, биология использует разнообразные методы и приемы. Одним из наиболее древних является *метод наблюдения*, на котором основывается *описательный метод*. Сбор фактического материала и его описание были основными приемами исследования на раннем этапе развития биологии. Но и в настоящее время они не утратили своего значения. Эти методы широко используют зоологи, ботаники, микологи, экологи и представители многих других биологических специальностей.

В XVIII в. в биологии стал широко применяться *сравнительный метод*, который позволял в процессе сопоставления объектов выявлять сходство и различия организмов и их частей. Благодаря этому методу были заложены основы систематики растений и животных, создана клеточная теория. Применение этого метода в анатомии, эмбриологии, палеонтологии способствовало утверждению в биологии эволюционной теории развития.

Исторический метод позволяет сравнить существующие факты с данными, известными ранее, выявить закономерности появления и развития организмов, усложнения их структуры и функций.

Огромное значение для развития биологии имел *экспериментальный метод*, его первое применение связывают с именем римского врача Галена (II в. н. э.). Гален впервые продемонстрировал участие нервной системы в организации поведения и в работе органов чувств. Однако широко использоваться этот метод начал лишь с XIX в. Классическим образцом применения экспериментального метода являются работы И. М. Сеченова по физиологии нервной деятельности и Г. Менделя по изучению наследования признаков.

В настоящее время биологи все чаще используют *метод моделирования*, позволяющий воспроизвести такие экспериментальные условия, которые в реальности воссоздать порой не представляется возможным. С помощью компьютерного моделирования, например, можно рассчитать последствия постройки плотины для определенной экосистемы или воссоздать эволюцию определенного вида живых организмов. Меняя параметры, можно выбрать оптимальный путь развития агроценоза или подобрать наиболее безопасное сочетание лекарственных препаратов при лечении конкретного заболевания.

Любое научное исследование, использующее разные методы, состоит из нескольких этапов. Сначала в результате наблюдений собира-

■ Настоящую революцию в биологических исследованиях произвело появление электронного микроскопа, в котором вместо светового пучка используется пучок электронов. Разрешающая способность такого микроскопа в 100 раз выше, чем светового.

Одним из видов электронного микроскопа является сканирующий. В нем электронный луч не проходит через образец, а отражается от него и преобразуется в изображение на телеэкране. Это позволяет получать трехмерное изображение исследуемого объекта.

ют данные — *факты*, на основе которых выдвигают *гипотезу*. Для того чтобы оценить верность этой гипотезы, осуществляют серии экспериментов с целью получения новых результатов. Если гипотеза подтверждается, она может стать *теорией*, включающей в себя определенные *правила* и *законы*.

При решении биологических задач используется самая разнообразная техника: световые и электронные микроскопы, центрифуги, химические анализаторы, термостаты, компьютеры и множество других современных приборов и инструментов. ■

Вопросы для повторения и задания

1. Как вы считаете, в чем заключается необходимость выделения различных уровней организации живой материи?
2. Перечислите и охарактеризуйте уровни организации живой материи.
3. Назовите биологические макромолекулы, входящие в состав живых систем.
4. Как проявляются свойства живого на различных уровнях организации?
5. Какие методы исследования живой материи вы знаете?

Вопросы для обсуждения

Глава

«Биология как наука. Методы научного познания»

«Краткая история развития биологии.

Система биологических наук»

1. Проанализируйте изменения, произошедшие в науке в XVII—XVIII вв. Какие возможности они открыли перед учеными?
2. Как вы понимаете выражение «прикладная биология»?
3. Решение каких проблем человечества зависит от уровня биологических знаний?

«Сущность и свойства живого.

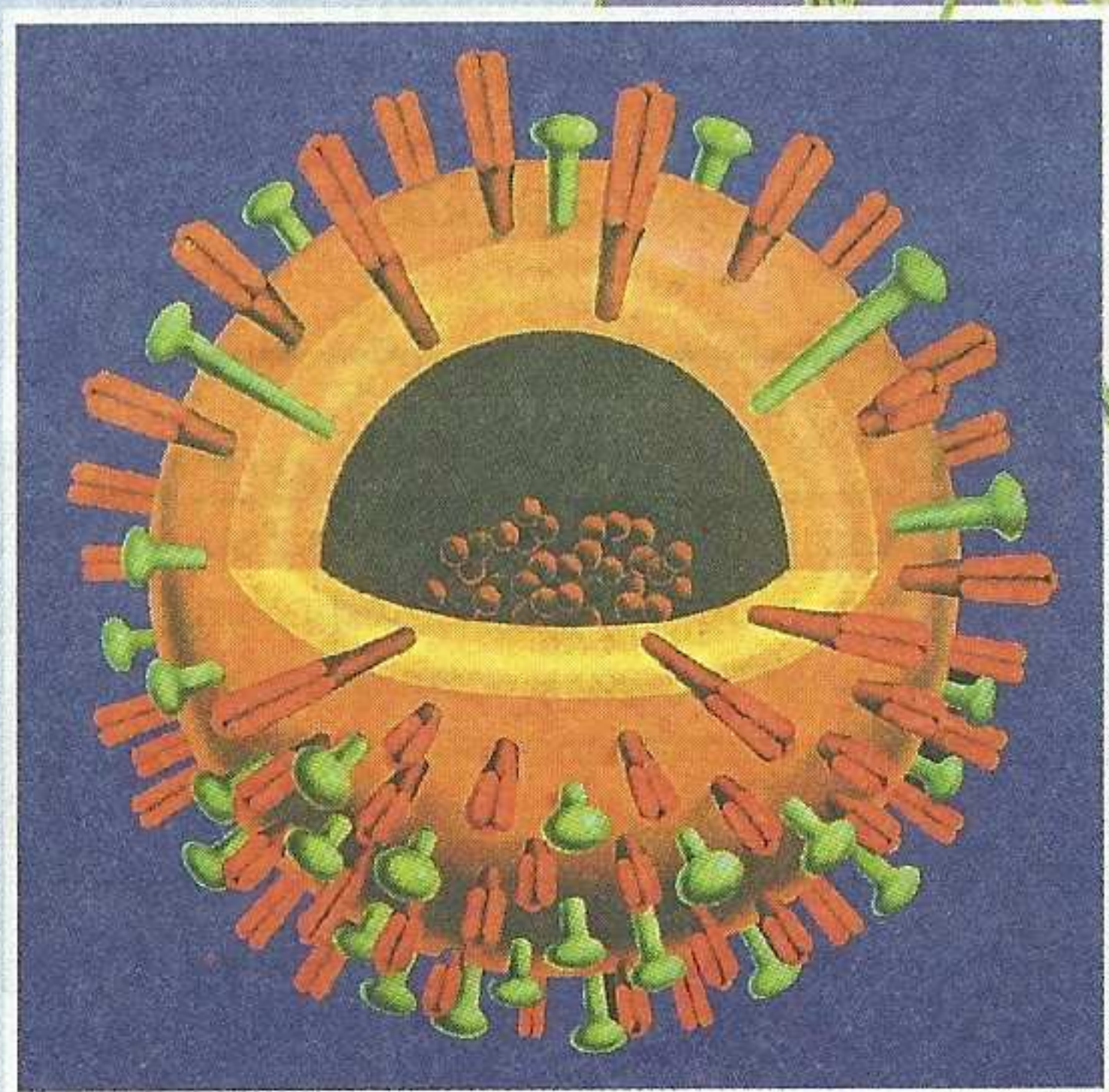
Уровни организации и методы познания живой природы»

1. Почему существует множество определений понятия «жизнь», но нет ни одного краткого и общепризнанного?
2. Выделите основные признаки понятия «биологическая система».
3. Согласны ли вы с тем, что описательный период в биологии продолжается и в XXI в.? Ответ обоснуйте.

ГЛАВА

2

Клетка



ТЕМЫ

История изучения клетки.
Клеточная теория

Химический состав клетки

Строение эукариотической
и прокариотической клеток

Реализация наследственной
информации в клетке

Вирусы



Удивительный и загадочный мир окружает нас, жителей планеты, образуя глобальную структуру — биосферу, и мы являемся неотъемлемой ее частью. Не менее загадочным и во многом еще не познанным является мир отдельного организма, будь то человек или птица, гриб или растение. Но в основе существования всех этих миров лежит **универсальная единица всего живого**, функционирование которой обеспечивает нашу жизнедеятельность, формирует нас и придает нам индивидуальные черты; которая дает начало всему живому и при этом сама является живым организмом. Речь идет **о клетке**.

2.1. История изучения клетки. Клеточная теория

Вспомните!

Что такое клетка?

Чем клетки отличаются друг от друга?

С помощью какого научного прибора была открыта клетка?

Какие еще методы изучения клетки вам известны?

Открытие и изучение клетки. Люди узнали о существовании клетки лишь в XVII в. Незадолго до этого, в 1590 г., голландский шлифовальщик стекол Захарий Янсен, соединив вместе две линзы, впервые изобрел примитивный микроскоп. Именно благодаря этому изобретению ученые смогли раскрыть тайну клеточного строения.

Первый, кто оценил значение увеличительного прибора и применил его для исследования срезов растительных и животных тканей, был английский физик и ботаник Роберт Гук. В 1665 г., изучая срез пробки, он обнаружил структуры, похожие по строению на пчелиные соты, и назвал их ячейками, или *клетками* (рис. 3). С тех пор этот термин прочно утвердился в биологии. Правда, надо отметить, что Р. Гук считал, что клетки пустые, а живое вещество — это клеточные стенки.

Примерно в это же время, во второй половине XVII в., известный голландский исследователь Антони ван Левенгук усовершенствовал микроскоп и смог наблюдать живые клетки с увеличением более чем в 200 раз. Именно он впервые в 1683 г. описал бактерии.

Еще до открытия клетки, в середине XVII в., известный английский врач Уильям Гарвей предположил, что все живые организмы развиваются из яйца. Это предположение блестяще доказал российский ученый Карл Максимович Бэр, который в 1827 г. обнаружил яйцеклетку млекопитающих. Данное открытие позволило ему сделать вывод, что каждый организм развивается из одной клетки.

В 1831—1833 гг. Роберт Броун обнаружил в растительных клетках сферическую структуру, которую назвал ядром.

Создание клеточной теории. Для понимания роли клетки в живых организмах огромное значение имели труды ботаника Матиаса Шлейдена и зоолога Теодора Шванна. Т. Шванн, проанализировав все существующие на тот момент знания о клеточном строении живой природы, сформулировал первую версию *клеточной теории*. Она постулировала, что все организмы, и растительные, и животные, состоят из простейших

частей — клеток. Причем каждая клетка в определенном смысле — некое индивидуальное самостоятельное целое. Но в одном организме все клетки действуют совместно, формируя гармоничное единство.

Правда, Шлейден и Шванн ошибались, считая, что новые клетки могут возникать из неклочного вещества. Это заблуждение было опровергнуто немецким ученым Рудольфом Вирховым, который показал, что все клетки образуются из других клеток путем клеточного деления. В 1858 г. Р. Вирхов написал: «Всякая клетка происходит из другой клетки... Там, где возникает клетка, ей должна предшествовать клетка, подобно тому, как животное происходит только от животного, растение — только от растения».

Клеточная теория оказала огромное влияние на развитие биологии и на формирование современной естественнонаучной картины мира. По определению Ф. Энгельса, клеточная теория, закон превращения энергии и эволюционная теория Ч. Дарвина являются тремя величайшими открытиями естествознания XIX в. На основе клеточной теории в середине XIX в. возникла *цитология* (от греч. цитос —местилище, клетка) — наука, изучающая структуру и функции клетки.

К концу XIX в. благодаря усовершенствованию микроскопической техники были открыты основные структурные компоненты клетки и изучен процесс ее деления. Немецкий естествоиспытатель Август Вейсман окончательно установил, что хранение и передача наследственных признаков в клетке осуществляются с помощью ядра. Изобретенный в 30-е гг. XX в. электронный микроскоп дал возможность исследовать ультраструктуру

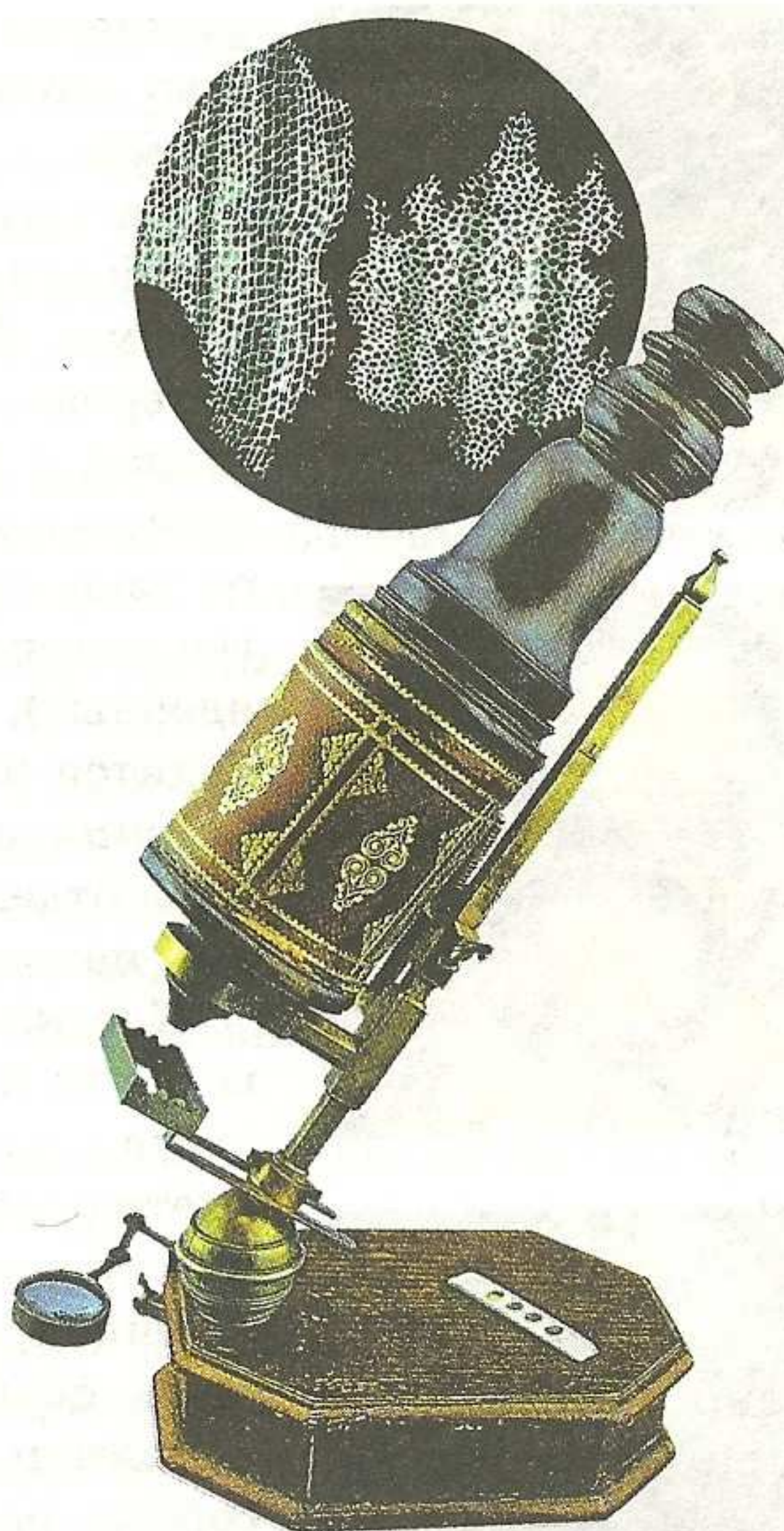
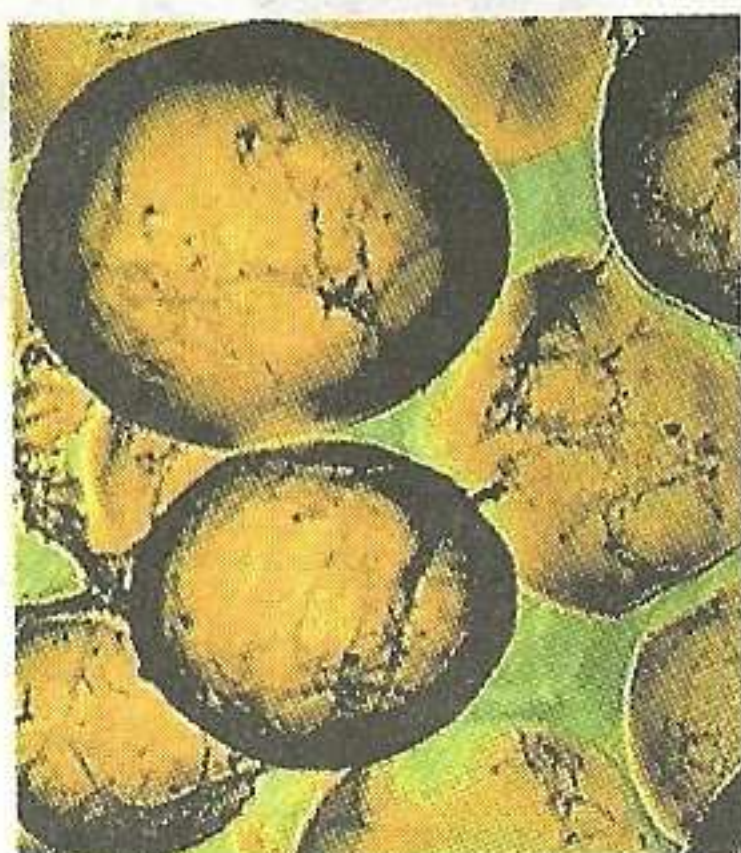


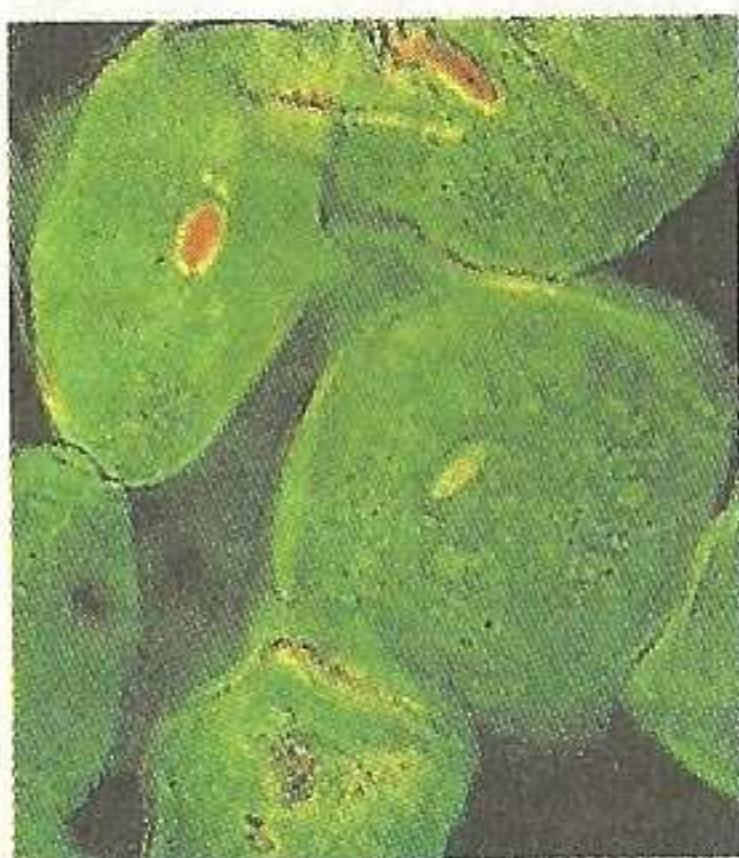
Рис. 3. Микроскоп Роберта Гука и сделанный им рисунок микроскопической структуры тонкого среза пробки



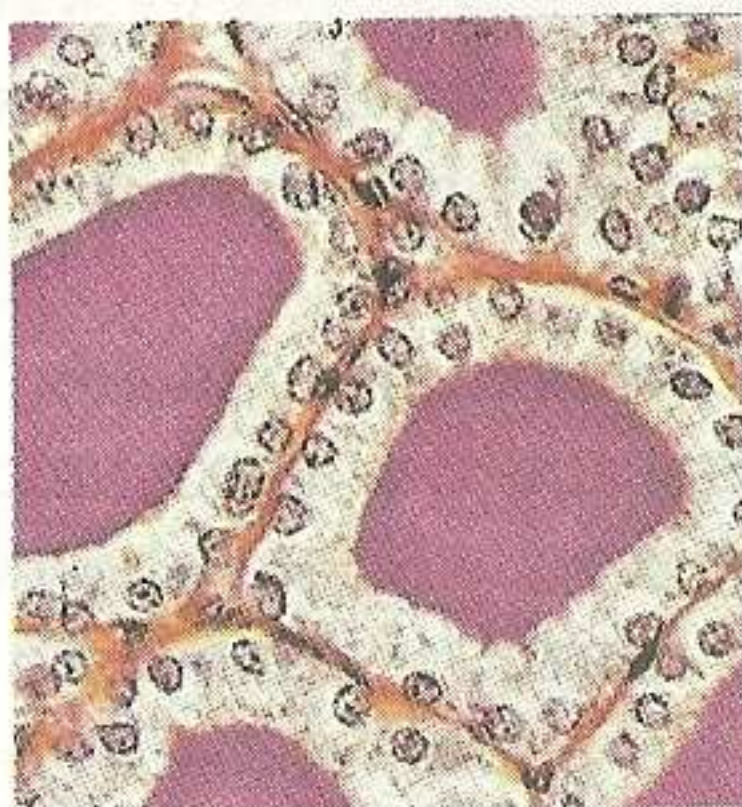
А



Б



В



Г

ру клетки. Было обнаружено удивительное сходство в тонком строении клеток различных организмов.

Каждая клетка покрыта плазматической мембраной и имеет внутреннее содержимое — цитоплазму. Любая клетка обладает генетическим материалом, содержащим наследственную информацию о строении и функционировании самой клетки и всего организма в целом. В зависимости от расположения этого генетического материала все клетки делятся на *прокариотические* (ядерные), наследственный материал которых находится непосредственно в цитоплазме, и *эукариотические* (ядерные), чей генетический материал отделен от цитоплазмы ядерной оболочкой, т. е. находится в ядре.

Клетка функционирует как единое целое, отвечая на воздействия внешней среды, взаимодействуя с другими клетками, входя в состав многоклеточных организмов. Она обеспечивает связь между поколениями, являясь носителем наследственной информации. Клетка может представлять целый самостоятельный организм, как, например, амеба, и в этом случае ее деятельность гораздо разнообразнее, чем работа специализированной клетки многоклеточного организма.

Несмотря на принципиальное сходство во внутреннем строении, клетки могут существенно отличаться по размеру и форме. Например, человеческий организм состоит из сотни видов клеток (рис. 4). Самой крупной среди них является яйцеклетка (до 200 мкм), а одними из самых мелких — некоторые клетки в нервной ткани (около 5 мкм). Эритроциты человека имеют форму двояковогнутого диска, клетки гладкой мышечной

Рис. 4. Разнообразные типы клеток человека: А — клетка костной ткани; Б — клетки жировой ткани; В — эпителиальные клетки щеки; Г — клетки щитовидной железы

ткани похожи на длинное узкое веретено, клетки эпителия могут быть кубическими, плоскими, цилиндрическими, а лейкоциты вообще не имеют постоянной формы. Крупные остециты с многочисленными отростками входят в состав костной ткани, а разнообразные нервные клетки звездчатой, веретеновидной, пирамидальной и иной формы имеют сложные ветвящиеся отростки, длина которых может достигать 1 м и более.

При всем этом разнообразии клеткам присущи общие признаки. Все клетки являются открытыми системами, которые обмениваются веществом и энергией с окружающей средой. Рост и развитие, размножение и раздражимость — эти свойства, необходимые для поддержания жизни, характерны для всех клеток.

Основные положения клеточной теории. Основные положения клеточной теории Т. Шванна, как важнейшего биологического обобщения XIX в., актуальны и в наше время, когда современная цитология, вобрав в себя достижения генетики, молекулярной и физико-химической биологии, превратилась в бурно развивающуюся науку — *клеточную биологию*.

Однако в свете современных знаний сформировались более глубокие представления о структуре и функциях клетки. Рассмотрим основные положения современной клеточной теории.

Клетка — элементарная единица живого. Клетка является наименьшей структурно-функциональной единицей живого и представляет собою открытую, саморегулирующуюся, самовоспроизводящуюся систему. Вне клетки жизни нет. ■

Все клетки сходны по своему химическому составу и имеют общий план строения. Общий принцип организации клеток определяется обязательными функциями, необходимыми для поддержания собственной жизнедеятельности. Однако клетки обладают и специфическими особенностями, связанными с выполнением клетками специальных функций и возникающими в результате клеточной дифференцировки.

Клетка происходит только от клетки. Размножение (увеличение числа) клеток происходит только путем деления пред-

■ Существование вирусов — неклеточной формы жизни — не противоречит этому положению клеточной теории, потому что размножаться вирусы могут только внутри живых клеток. Являясь паразитами на генетическом уровне, вне клетки они не способны к самовоспроизведению и метаболизму.

шествующих клеток. Миллиарды клеток, из которых состоит живой организм, возникли в результате делений оплодотворенного яйца (зиготы), поэтому все клетки организма генетически одинаковы.

Многоклеточные организмы представляют собой сложно организованные интегрированные системы, состоящие из взаимодействующих клеток. Кроме клеток в состав многоклеточных организмов входят неклеточные компоненты и гигантские многоядерные образования. Многоклеточный организм обладает новыми специфическими чертами и свойствами, которые не являются простым суммированием свойств составляющих его клеток.

Сходное клеточное строение организмов — свидетельство того, что все живое имеет единое происхождение.

Вопросы для повторения и задания

1. Расскажите об истории открытия клетки.
2. Кем и когда впервые была сформулирована клеточная теория?
3. Перечислите современные положения клеточной теории.
4. Охарактеризуйте значение клеточной теории для развития биологии.
5. Подумайте, для каких представителей органического мира понятия «клетка» и «организм» совпадают?

2.2. Химический состав клетки

Вспомните!

Что такое химический элемент?

Какие химические элементы преобладают в земной коре?

Что вам известно о роли таких химических элементов, как иод, кальций, железо в жизнедеятельности организмов?

Одним из основных общих признаков живых организмов является единство их элементного химического состава. Независимо от того, к какому царству, типу или классу принадлежит то или иное живое существо, в состав его тела входят одни и те же, так называемые универсальные химические элементы. Сходство в химическом составе разных клеток свидетельствует о единстве их происхождения.

В живой природе обнаружено около 90 химических элементов, т. е. большая часть всех известных на сегодняшний день. Никаких специ-

альных элементов, характерных только для живых организмов, не существует, и это является одним из доказательств общности живой и неживой природы. Но количественное содержание тех или иных элементов в живых организмах и в окружающей их неживой среде существенно отличается. Например, кремния в почве около 33%, а в наземных растениях лишь 0,15%. Подобные различия указывают на способность живых организмов накапливать только те элементы, которые необходимы им для жизнедеятельности (рис. 5).

В зависимости от содержания все химические элементы, входящие в состав живой природы, разделяют на несколько групп.

Макроэлементы. I группа. Главными компонентами всех органических соединений, выполняющих биологические функции, являются кислород, углерод, водород и азот. Все углеводы и липиды содержат водород, углерод и кислород, а в состав белков и нуклеиновых кис-

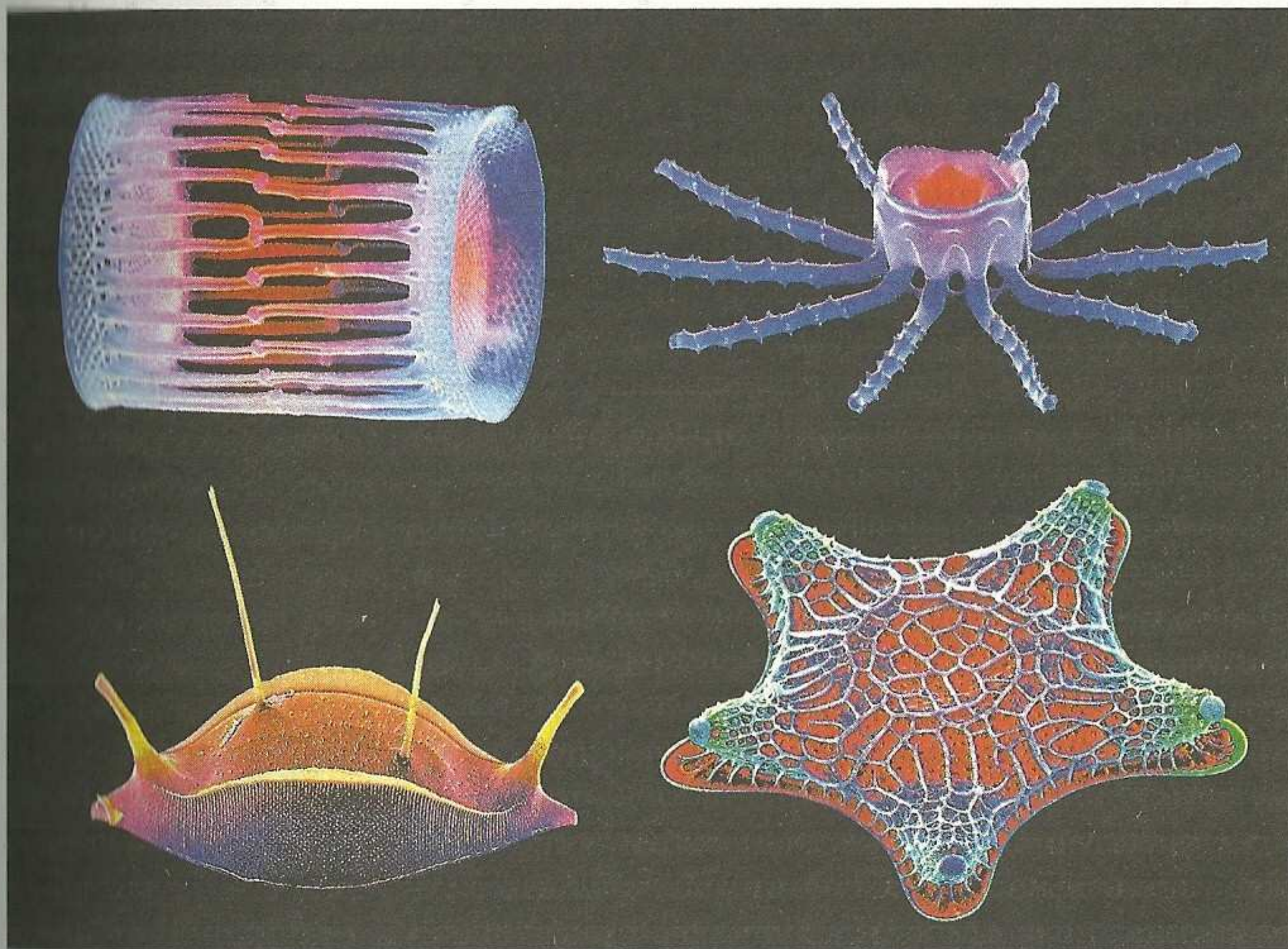


Рис. 5. Панцири одноклеточных диатомовых водорослей содержат большое количество кремния

лот, кроме этих компонентов, входит *азот*. На долю этих четырех элементов приходится 98% от массы живых клеток.

II группа. К группе макроэлементов относятся также фосфор, сера, калий, магний, натрий, кальций, железо, хлор. Эти химические элементы являются обязательными компонентами всех живых организмов. Содержание каждого из них в клетке составляет от десятых до сотых долей процента от общей массы.

Натрий, калий и хлор обеспечивают возникновение и проведение электрических импульсов в нервной ткани. Поддержание нормального сердечного ритма зависит от концентрации в организме *натрия, калия и кальция*. *Железо* участвует в биосинтезе хлорофилла, входит в состав гемоглобина (белка-переносчика кислорода в крови) и миоглобина (белка, содержащего запас кислорода в мышцах). *Магний* в клетках растений входит в состав хлорофилла, а в животном организме участвует в формировании ферментов, необходимых для нормального функционирования мышечной, нервной и костной тканей. В состав белков часто входит *сера*, а все нуклеиновые кислоты содержат *фосфор*. Фосфор также является компонентом всех мембранных структур.

Среди обеих групп макроэлементов кислород, углерод, водород, азот, фосфор и сера объединяются в группу **биоэлементов**, или **органогенов**, на основании того, что они составляют основу большинства органических молекул (табл. 1).

Таблица 1

Содержание биоэлементов в клетке

Элемент	Содержание в клетке, % от массы
Кислород (O)	65,0—75,0
Углерод (C)	15,0—18,0
Водород (H)	8,0—10,0
Азот (N)	1,0—3,0
Фосфор (P)	0,2—1,0
Сера (S)	0,15—0,2

Микроэлементы. Существует большая группа химических элементов, которые содержатся в организмах в очень низких концентрациях. Это алюминий, медь, марганец, цинк, молибден, кобальт, никель, иод, селен, бром, фтор, бор и многие другие. На долю каждого из них при-

ходится не более тысячных долей процента, а общий вклад этих элементов в массу клетки — около 0,02%. В растения и микроорганизмы микроэлементы поступают из почвы и воды, а в организм животных — с пищей, водой и воздухом. Роль и функции элементов этой группы в различных организмах весьма разнообразны. Как правило, микроэлементы входят в состав биологически активных соединений (ферментов, витаминов и гормонов) и их действие проявляется, главным образом, в том, как они влияют на обмен веществ.

Кобальт входит в состав витамина B_{12} и принимает участие в синтезе гемоглобина, его недостаток приводит к анемии. *Молибден* в составе ферментов участвует в фиксации азота у бактерий и обеспечивает работу устьичного аппарата у растений. *Медь* является компонентом фермента, участвующего в синтезе меланина (пигмента кожи), влияет на рост и размножение растений, на процессы кроветворения у животных организмов. *Иод* у всех позвоночных животных входит в состав гормона щитовидной железы — тироксина. *Бор* влияет на ростовые процессы у растений, его недостаток приводит к отмиранию верхушечных почек, цветков и завязей. *Цинк* действует на рост животных и растений, а также входит в состав гормона поджелудочной железы — инсулина. Нехватка *селена* приводит к возникновению у человека и животных раковых заболеваний. Каждый элемент играет свою определенную, очень важную роль в обеспечении жизнедеятельности организма.

Как правило, биологический эффект того или иного микроэлемента зависит от присутствия в организме других элементов, т. е. каждый живой организм — это уникальная сбалансированная система, нормальная работа которой зависит, в том числе, и от правильного соотношения ее компонентов на любом уровне организации. Так, например, *марганец* улучшает усвоение организмом *меди*, а *фтор* влияет на метаболизм *стронция*.

Обнаружено, что некоторые организмы интенсивно накапливают определенные элементы. Например, многие морские водоросли накапливают *иод*, хвощи — *кремний*, лютики — *литий*, а моллюски отличаются повышенным содержанием *меди*.

Микроэлементы широко используются в современном сельском хозяйстве в виде микроудобрений для повышения урожайности культур и в качестве добавок к кормам для увеличения продуктивности животных. Применяются микроэлементы и в медицине.

Ультрамикроэлементы. Существует группа химических элементов, которые содержатся в организмах в следовых, т. е. ничтожно малых концентрациях. К ним относят золото, бериллий, серебро и другие элементы. Физиологическая роль этих компонентов в живых организмах пока окончательно не установлена.

Роль внешних факторов в формировании химического состава живой природы. Содержание тех или иных элементов в организме определяется не только особенностями данного организма, но также составом среды, в которой он обитает, и той пищей, которую он использует. Геологическая история нашей планеты, особенности почвообразовательных процессов привели к тому, что на поверхности Земли сформировались области, которые отличаются друг от друга по содержанию химических элементов. Резкий недостаток или, наоборот, избыток какого-либо химического элемента вызывает в пределах таких зон возникновение биогеохимических эндемий — заболеваний растений, животных и человека.

Во многих районах нашей страны — на Урале и Алтае, в Приморье и в Ростовской области количество иода в почве и в воде значительно снижено. Если человек не получает с пищей нужного количества иода, у него снижается синтез тироксина. Щитовидная железа, пытаясь компенсировать нехватку гормона, разрастается, что приводит к обра-

зованию так называемого эндемического зоба. Особенно тяжелые последствия от недостатка иода возникают у детей. Сниженное количество тироксина приводит к резкому отставанию в умственном и физическом развитии.

Чтобы предотвратить заболевания щитовидной железы, врачи рекомендуют подсаливать пищу специальной солью, обогащенной иодидом калия, употреблять рыбные блюда и морскую капусту. ■

■ Почти 2 тысячи лет назад правитель одной из северо-восточных провинций Китая издал указ, в котором обязал всех своих подданных съедать по 2 кг морской капусты в год. С тех пор жители послушно соблюдают древний указ, и, несмотря на то, что в этом районе существует явный недостаток иода, население не страдает заболеваниями щитовидной железы.

Вопросы для повторения и задания

1. В чем заключается сходство биологических систем и объектов неживой природы?

2. Перечислите биоэлементы и объясните, каково их значение в образовании живой материи.
3. Что такое микроэлементы? Приведите примеры и охарактеризуйте биологическое значение этих элементов.
4. Как отразится на жизнедеятельности клетки и организма недостаток какого-либо микроэлемента? Приведите примеры таких явлений.
5. Расскажите об ультрамикроэлементах. Каково их содержание в организме? Что известно об их роли в живых организмах?
6. Приведите примеры известных вам биохимических эндемий. Объясните причины их происхождения.

2.3. Неорганические вещества клетки

Вспомните!

Что такое неорганические вещества?

Какими физическими и химическими свойствами обладает вода?

Что называют ионами, анионами и катионами?

Значительная часть соединений, входящих в состав клетки, встречается в больших количествах только в живой природе. Это органические вещества. Однако есть соединение, которое одинаково характерно как для живой, так и для неживой природы. Это вода (рис. 6).

Вода. Считается, что миллиарды лет тому назад в первичном океане на нашей планете зародилась жизнь и вся дальнейшая эволюция природы была неразрывно связана с водой. Уникальные свойства этой относительно небольшой молекулы позволили нашей планете стать такой, какая она есть сейчас. Все жители Земли, растения и животные, грибы и бактерии, обязаны воде жизнью. В чем же заключается особенность этого вещества?

Молекула воды — это *диполь*, т. е. на одной стороне молекулы сосредоточен положительный за-



Рис. 6. Вещества, входящие в состав живых организмов

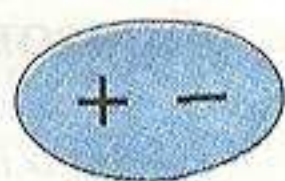


Рис. 7. Диполь.
Схематичное
изображение
молекулы воды

ряд, а на другом конце — отрицательный (рис. 7). Именно эта особенность строения молекулы воды определяет ее свойство **универсального растворителя**. Любые вещества, имеющие заряженные группы, растворяются в воде (рис. 8). Такие соединения называют **гидрофильными** (от греч. hydros — вода и phileo — люблю). Большинство веществ, присутствующих в клетке, относится к этой группе, например соли, аминокислоты, сахара, белки, простые спирты. Когда вещество переходит в раствор, его реакционная способность увеличивается. Однако есть соединения, которые в воде растворяются очень плохо или вовсе не растворяются. Такие вещества называют **гидрофобными** (от греч. hydros — вода и phobos — страх), к ним относятся, в частности, жиры (липиды), жироподобные вещества (липоиды), полисахариды и некоторые белки.

Большинство процессов, которые протекают внутри клетки, могут осуществляться только в водной среде. Но вода не только обеспечивает условия химических реакций, она сама **участвует во многих метаболических процессах**. В реакциях гидролиза¹ белки расщепляются до аминокислот, а крахмал — до глюкозы. Высвобождение энергии в организме происходит при взаимодействии с водой главной энергетической молекулы — АТФ. Вода участвует в реакциях фотосинтеза и в синтезе АТФ в митохондриях.

Отрицательные и положительные полюсы разных молекул воды притягиваются друг к другу, что приводит к образованию водородных связей. Наличие этих связей придает воде структурированность, что объясняет многие ее необычные свойства: высокую температуру кипения, плавления, высокую теплоемкость.

Сочетание **высокой теплоемкости** и **теплопроводности** делает воду идеальной жидкостью для поддержания теплового равновесия. Тепло быстро и равномерно распределяется между всеми частями организма.

Высокая интенсивность испарения приводит к быстрой потере тепла и предохраняет от перегрева: испарение у растений и потоотделение у животных являются защитными реакциями и позволяют при минимальной потере воды существенно снизить температуру тела.

Практически полная **несжимаемость** воды обеспечивает поддержание формы клетки, а **вязкость** придает воде свойства смазки.

¹ **Гидролиз** — реакции ионного обмена между различными веществами и водой.

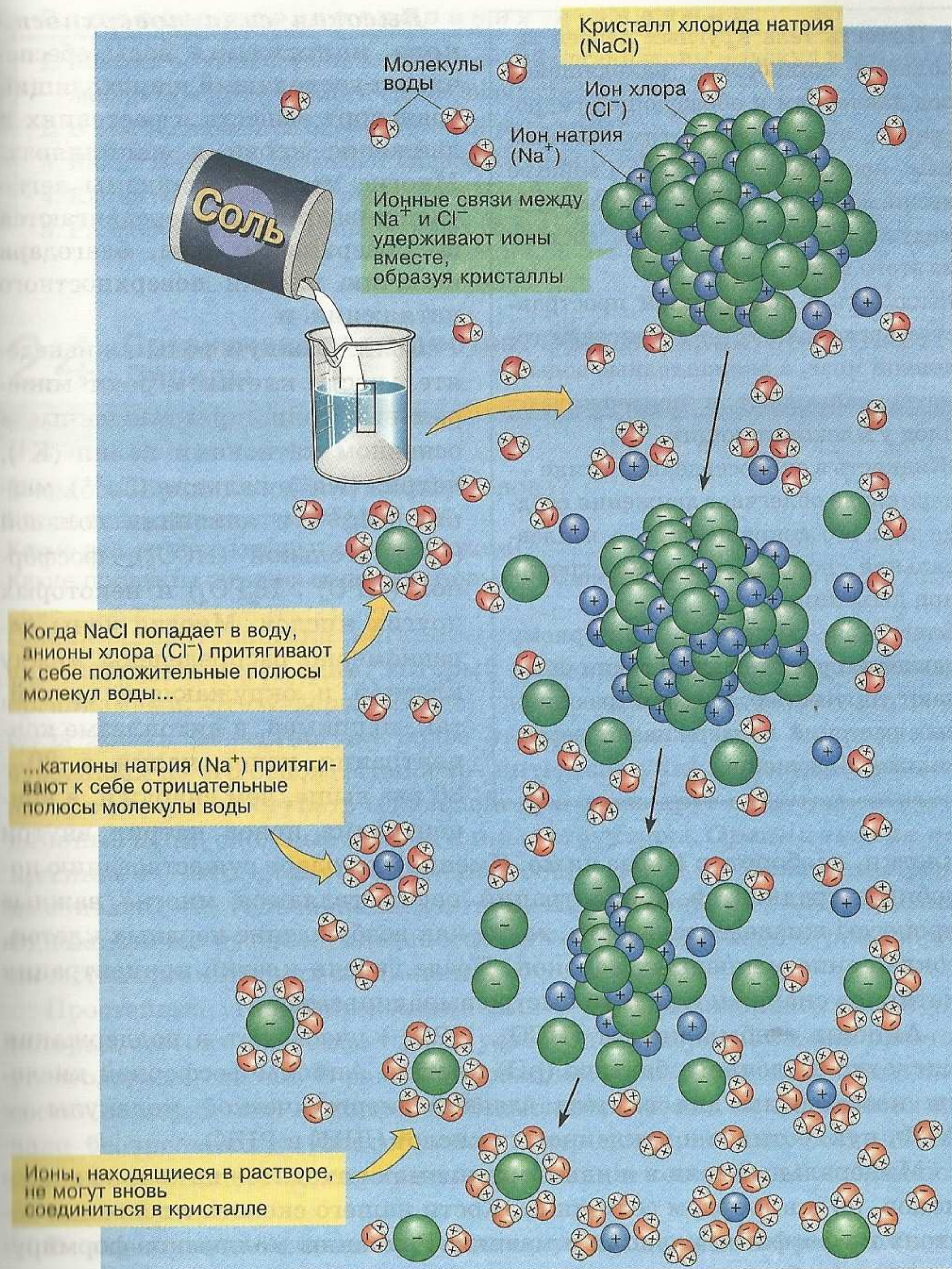


Рис. 8. Растворение в воде хлорида натрия

■ Полость тела круглых червей заполнена жидкостью, находящейся под давлением и образующей гидроскелет, что придает этим организмам постоянную форму. Свойство несжимаемости воды используется медузами, чье тело на 95% состоит из этого вещества.

Жидкость в подчерепном пространстве предохраняет от сотрясения головной мозг, а околоплодные воды в матке защищают и поддерживают плод у млекопитающих.

Жидкость в околосердечной сумке — перикарде облегчает движения сердца при его сокращениях, а в плевральной полости снижает трение при дыхании.

Благодаря высокому тургорному давлению растительные ткани обладают упругостью, а стебли травянистых растений поддерживают вертикальное положение.

Высокая сила поверхностного натяжения воды обеспечивает восходящий и нисходящий транспорт веществ в растениях и движение крови в капиллярах. Многие мелкие организмы легко удерживаются и передвигаются по поверхности воды, благодаря наличию пленки поверхностного натяжения. ■

Соли. Важную роль в жизнедеятельности клетки играют минеральные соли, представленные в основном катионами калия (K^+), натрия (Na^+), кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}) и анионами соляной (Cl^-), угольной (HCO_3^-), фосфорной (HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$) и некоторых других кислот. Многие ионы неравномерно распределены между клеткой и окружающей средой, так, например, в цитоплазме концентрация ионов калия в 20—30 раз выше, чем снаружи, а концентрация ионов натрия внутри

клетки, наоборот, в 10 раз ниже. Именно благодаря существованию подобных градиентов концентраций осуществляются многие важные процессы жизнедеятельности, такие как возбуждение нервных клеток, сокращение мышечных волокон. После гибели клетки концентрация катионов снаружи и внутри быстро выравнивается.

Анионы слабых кислот (HCO_3^- , HPO_4^{2-}) участвуют в поддержании кислотно-щелочного баланса (pH) клетки. Анионы фосфорной кислоты необходимы для синтеза главной энергетической молекулы — АТФ, нуклеотидов и нуклеиновых кислот (ДНК и РНК).

Минеральные соли в живых организмах находятся не только в виде ионов, но и в твердом состоянии. Кости нашего скелета в основном состоят из фосфатов кальция и магния. Раковины моллюсков формируются из карбоната кальция.

Вопросы для повторения и задания

1. Каковы особенности пространственной организации молекул воды, обуславливающие ее биологическое значение?
2. В чем заключается биологическая роль воды?
3. Какие вещества называют гидрофильными? Гидрофобными?
4. Какие вещества поддерживают pH клетки на постоянном уровне?
5. Расскажите о роли минеральных солей в жизнедеятельности клетки.

2.4. Органические вещества. Общая характеристика. Липиды

Вспомните!

В чем особенность строения атома углерода?

Какую связь называют ковалентной?

Какие вещества называют органическими?

Какие продукты питания содержат большое количество жира?

Общая характеристика органических веществ. Среди всех химических элементов есть один, который наиболее тесно связан с живыми организмами. Это углерод. Везде, где его находят, есть или когда-то была жизнь. Известно уже более миллиона различных молекул, построенных на его основе. Наиболее интересна уникальная способность атомов углерода вступать в ковалентную связь друг с другом, образуя длинные цепи, сложные кольца и иные структуры. **Органические вещества — это сложные углеродсодержащие соединения.** Прежде считали, что только живые организмы способны их синтезировать. Однако сейчас путем химического синтеза уже получено огромное количество органических соединений.

Простейшие углеродные соединения — это углеводороды, молекулы которых состоят из атомов только углерода и водорода. Самый простой углеводород — метан. В ранний период истории Земли метан входил в состав ее первичной атмосферы. Возможно, именно он и положил начало бесчисленному разнообразию углеродсодержащих соединений, которые возникали по мере развития жизни и которые сейчас являются основой жизни.

В современных живых организмах углеводороды встречаются нечасто.

■ Некоторые млекопитающие способны избирательно накапливать провитамин А в жировой клетчатке и молоке. При недостатке витамина А снижается сопротивляемость к инфекционным заболеваниям, страдает репродуктивная функция, возникают проблемы с кожей и развивается так называемая куриная слепота — нарушается темновая адаптация.

Сорок атомов углерода входит в состав углеводорода каротина — оранжево-желтого пигмента. Богаты каротином плоды шиповника и смородины, морковь и томаты, яичный желток. Очень важен для полноценного питания животных и человека β -каротин — провитамин А, который в организме превращается в витамин А. ■

Однако подавляющее большинство органических соединений

устроено гораздо более сложно, нежели углеводороды.

Органические вещества живой природы чрезвычайно разнообразны по своим размерам, строению и функциям. Поэтому создать единую классификацию, которая учитывала бы все характерные особенности каждого соединения, практически невозможно. Наиболее распространено деление всех органических соединений на *низкомолекулярные* (аминокислоты, липиды, органические кислоты и др.) и *высокомолекулярные*, или *биополимеры*. Полимеры — это молекулы, состоящие из повторяющихся структурных единиц — *мономеров*. В свою очередь все биополимеры подразделяют на две группы: *гомополимеры*, или регулярные, построенные из мономеров одного типа (например, гликоген, крахмал и целлюлоза состоят из молекул глюкозы), и *гетерополимеры*, или нерегулярные, в состав которых входят отличающиеся друг от друга момеры (например, белки состоят из 20 типов аминокислот, а нуклеиновые кислоты — из 8 типов нуклеотидов, см. § 2.5, 2.6).

Рассмотрим наиболее важные группы органических соединений, которые определяют основные свойства клеток и организмов (рис. 9).

Липиды. Среди низкомолекулярных органических соединений, входящих в состав живых организмов, важную роль играют липиды, к которым относятся жиры, воски и разнообразные жироподобные вещества. Это гидрофобные соединения, не рас-



Рис. 9. Основные группы органических веществ

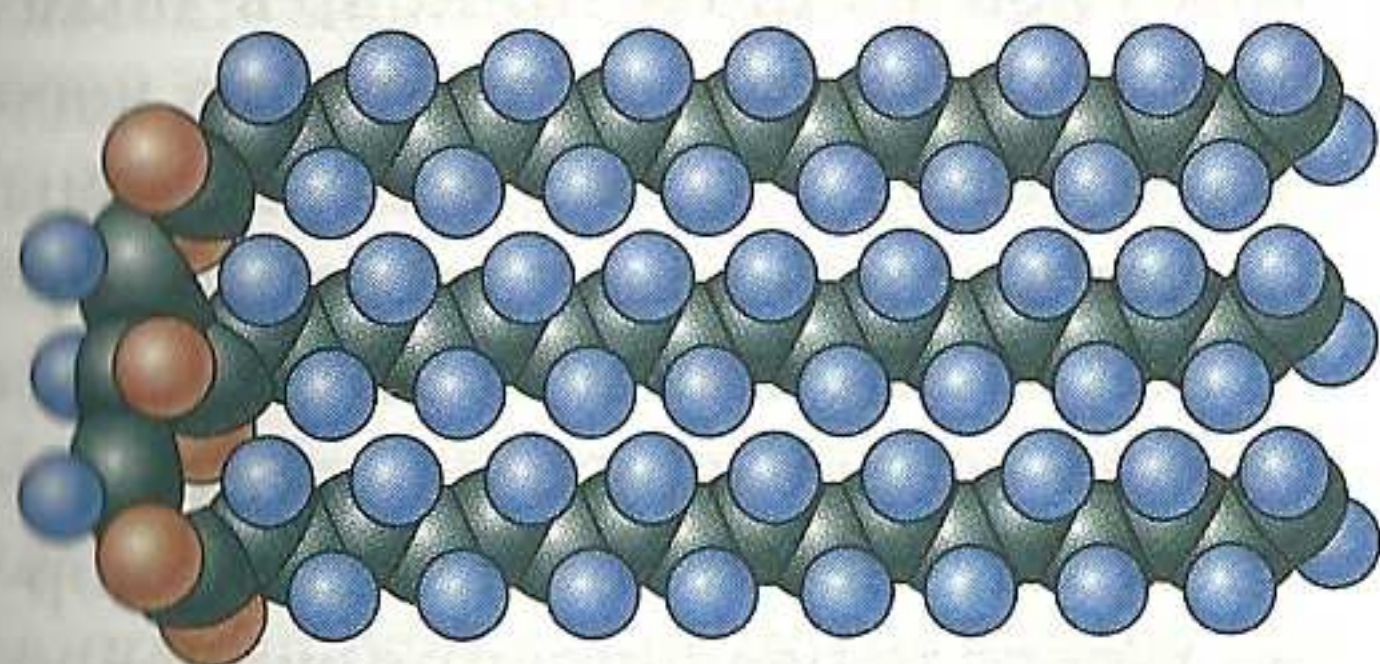
творимые в воде. Общее содержание липидов в клетке колеблется в пределах 5—15% от массы сухого вещества. В клетках подкожной жировой клетчатки их количество возрастает до 90%.

Широко распространены в природе **нейтральные жиры**, которые представляют собой соединения высокомолекулярных жирных кислот и трехатомного спирта глицерина (рис. 10). В цитоплазме клеток жиры откладываются в виде жировых капель.

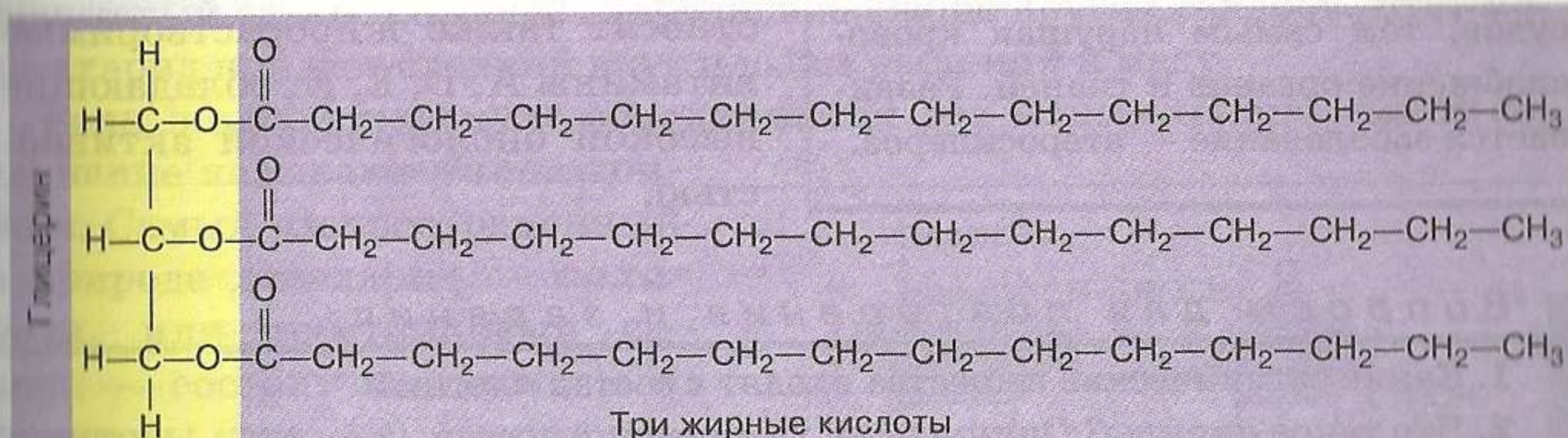
Жиры являются *источником энергии*. При окислении 1 г жира до углекислого газа и воды выделяется 38,9 кДж энергии (при окислении 1 г глюкозы — всего 17 кДж).

Жиры служат *источником метаболической воды*, из 1 г жира образуется 1,1 г воды. Используя свои жировые запасы, верблюды или впадающие в зимнюю спячку суслики могут обходиться без воды длительное время.

Жиры, в основном, откладываются в клетках жировой ткани. Эта ткань служит энергетическим депо организма, предохраняет его от



А



Гидрофильная часть

Гидрофобная часть

Б

Рис. 10. Модель (А) и схема строения (Б) молекулы нейтрального жира

потери тепла и выполняет *защитную функцию*. В полости тела между внутренними органами у позвоночных животных формируются упругие жировые прокладки, которые защищают органы от повреждений, а подкожная жировая клетчатка создает *теплоизоляционный слой*.

Воски — пластичные вещества, обладающие водоотталкивающими свойствами. У насекомых они служат материалом для постройки сот. Восковой налет на поверхности листьев, стеблей, плодов защищает растения от механических повреждений, ультрафиолетового излучения и играет важную роль в регуляции водного баланса.

Не менее важное значение в организме имеют *жироподобные вещества*. Представители этой группы — фосфолипиды формируют основу всех биологических мембран. По своей структуре фосфолипиды сходны с жирами, но в их молекуле один или два остатка жирных кислот замещены остатком фосфорной кислоты.

Важную роль в жизнедеятельности всех живых организмов, особенно животных, играет жироподобное вещество — холестерин. В корко-

вом слое надпочечников, в половых железах и в плаценте из него образуются стероидные гормоны (кортикостероиды и половые гормоны). В клетках печени из холестерина синтезируются желчные кислоты, необходимые для нормального переваривания жиров. ■

К жироподобным веществам относят также жирорастворимые витамины А, D, E, K, обладающие высокой биологической активностью.

■ При неправильном питании, если рацион человека чрезмерно богат жирами, содержание холестерина в крови резко возрастает. Это может привести к образованию на стенках кровеносных сосудов холестериновых бляшек, которые сужают и даже полностью перекрывают просвет сосудов, тем самым нарушая кровоснабжение органов и тканей. Развивается заболевание — атеросклероз.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие органические вещества входят в состав клетки?
2. Что такое липиды? Опишите их химический состав.
3. Какова роль липидов в обеспечении жизнедеятельности организма?
4. В чем заключается биологическое значение жироподобных веществ?
5. Вспомните из курса «Человек и его здоровье» функции витаминов; симптомы их недостаточности.

2.5. Органические вещества. Углеводы. Белки

Вспомните!

Какие вещества называют биологическими полимерами?

Каково значение углеводов в природе?

Назовите известные вам белки. Какие функции они выполняют?

Углеводы (сахара). Это обширная группа природных органических соединений. В животных клетках углеводы составляют не более 5% сухой массы, а в некоторых растительных (например, клубни картофеля) их содержание достигает 90% сухого остатка. Углеводы подразделяют на три основных класса: моносахариды, дисахариды и полисахариды.

Моносахариды *рибоза* и *дезоксирибоза* входят в состав нуклеиновых кислот (рис. 11). *Глюкоза* присутствует в клетках всех организмов и является одним из основных источников энергии для животных. Широко распространена в природе *фруктоза* — фруктовый сахар, который значительно слаще других сахаров. Этот моносахарид придает сладкий вкус плодам растений и меду.

Если в одной молекуле объединяются два моносахарида, такое соединение называют **дисахаридом**. Самый распространенный в природе дисахарид — *сахароза*, или тростниковый сахар, — состоит из глюкозы и фруктозы (рис. 12). Ее получают из сахарного тростника или сахарной свеклы. Именно она и есть тот самый «сахар», который мы покупаем в магазине.

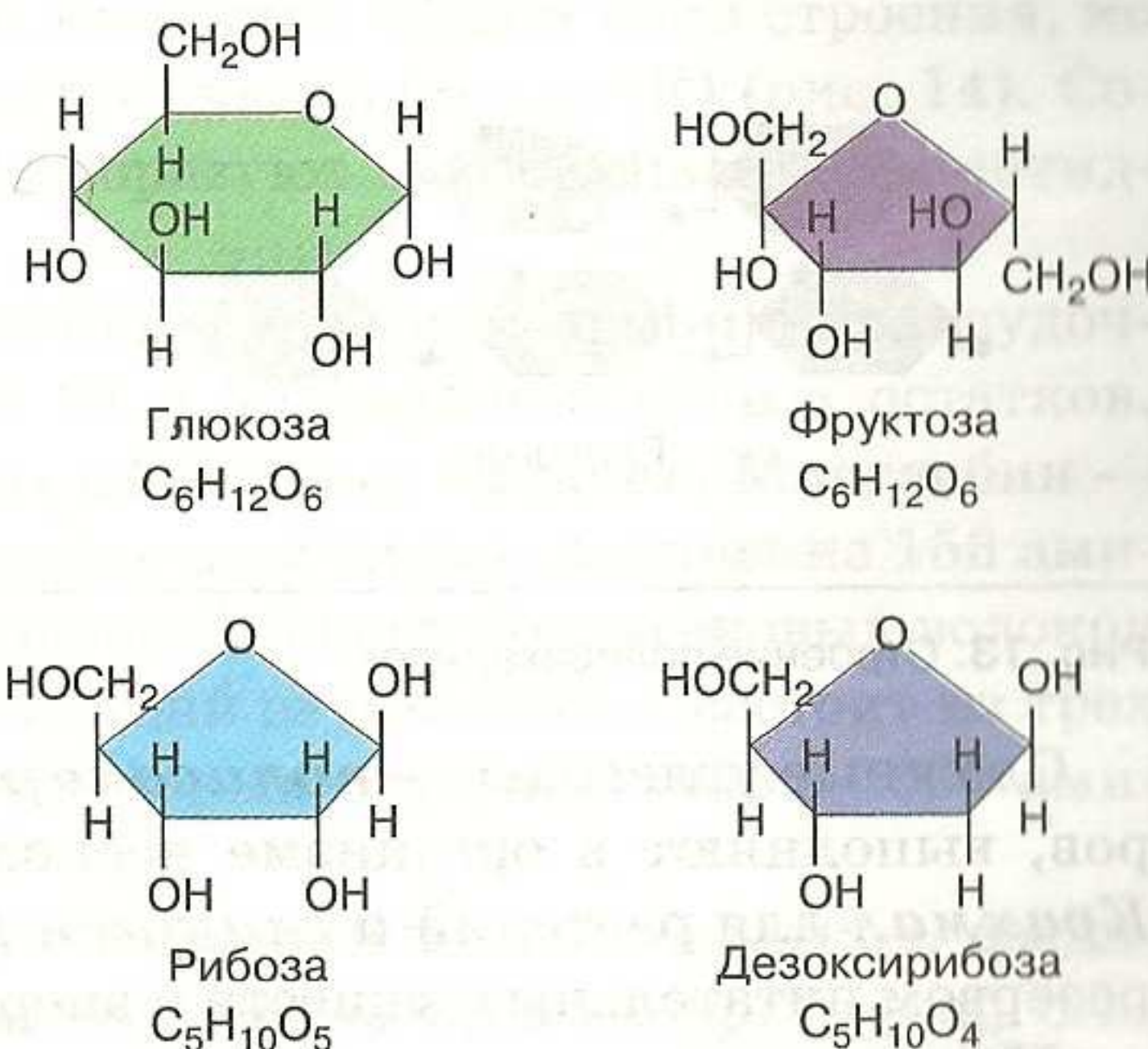


Рис. 11. Структурные формулы моносахаридов

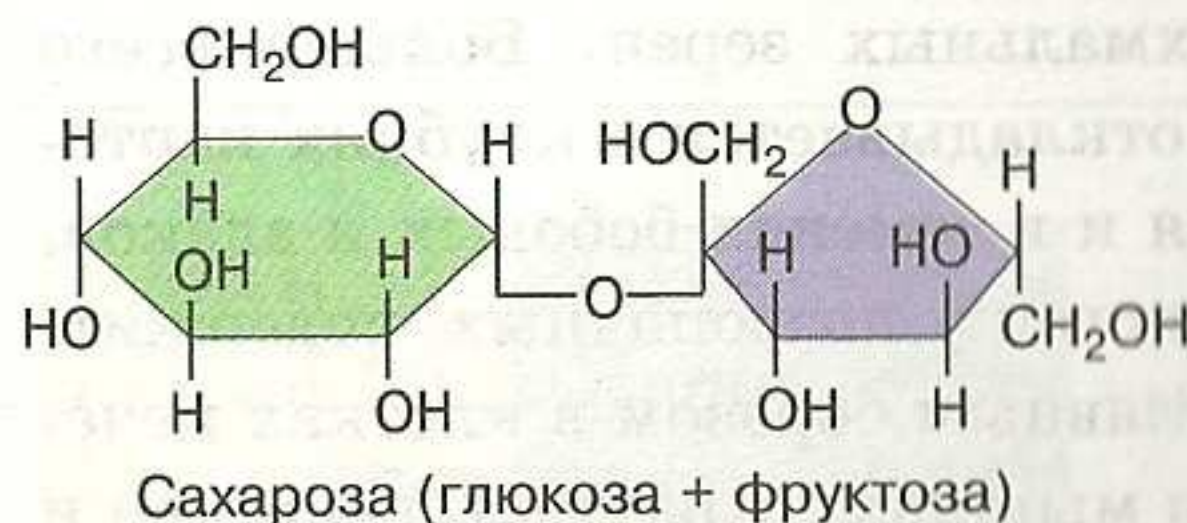
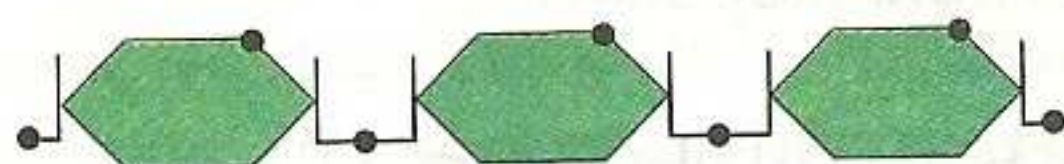


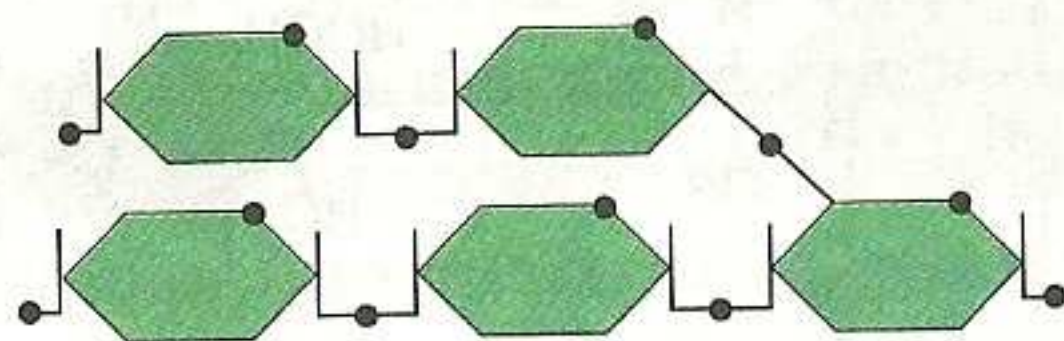
Рис. 12. Структурная формула сахарозы (дисахарида)



Целлюлоза



Крахмал



Гликоген

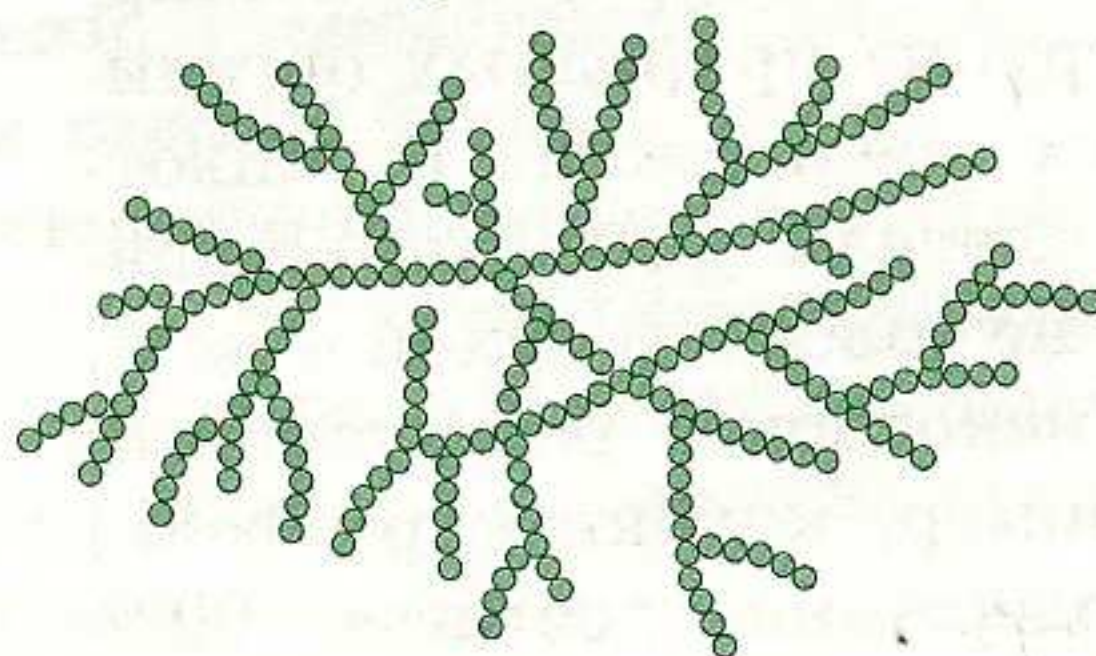
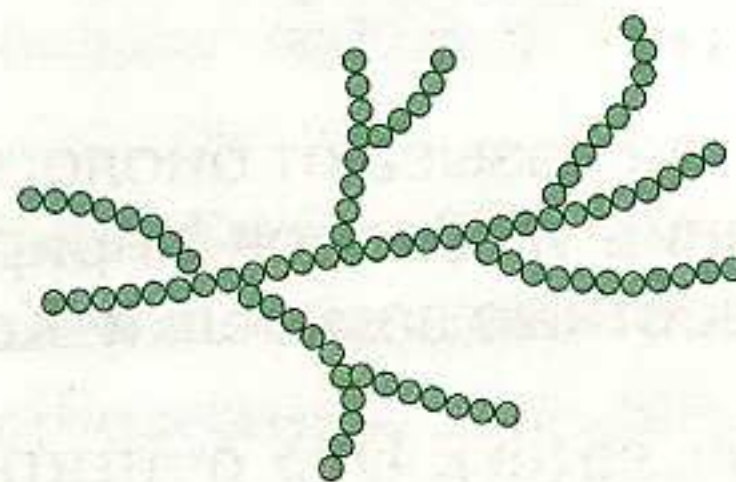


Рис. 13. Строение полисахаридов

Сложные углеводы — **полисахариды**, состоящие из простых сахаров, выполняют в организме несколько важных функций (рис. 13). *Крахмал* для растений и *гликоген* для животных и грибов являются резервом питательных веществ и энергии. ■

Целлюлоза и *хитин* выполняют в живых организмах структурную и защитную функции. Целлюлоза, или клетчатка, образует стенки растительных клеток. По общей массе она занимает первое место на Земле среди всех органических соединений. По своему строению очень близок к целлюлозе хитин, который составляет основу наружного скелета членистоногих и входит в состав клеточной стенки грибов.

■ Крахмал запасается в растительных клетках в виде так называемых крахмальных зерен. Больше всего его откладывается в клубнях картофеля и в семенах бобовых и злаков. Гликоген у позвоночных содержится главным образом в клетках печени и мышцах. Крахмал, гликоген и целлюлоза построены из молекул глюкозы.

Белки (полипептиды). Одними из наиболее важных органических соединений в живой природе являются белки. В каждой живой клетке присутствует одновременно более тысячи видов белковых молекул. И у каждого белка своя особая, только ему свойственная функция. О первостепенной роли этих сложных веществ догадыва-

лись еще в начале XX в., именно поэтому им дали название *протеины* (от греч. *protos* — первый). В различных клетках на долю белков приходится от 50 до 80% сухой массы.

Строение белков. Длинные белковые цепи построены всего из 20 различных типов аминокислот, имеющих общий план строения, но отличающихся друг от друга по строению радикала (R) (рис. 14). Соединяясь, молекулы аминокислот образуют так называемые пептидные связи (рис. 15).

Две полипептидные цепи, из которых состоит гормон поджелудочной железы — инсулин, содержат 21 и 30 аминокислотных остатков. Это одни из самых коротких «слов» в белковом «языке». Миоглобин — белок, связывающий кислород в мышечной ткани, состоит из 153 аминокислот. Белок коллаген, составляющий основу коллагеновых волокон соединительной ткани и обеспечивающий ее прочность, состоит из трех полипептидных цепей, каждая из которых содержит около 1000 аминокислотных остатков.

Последовательное расположение аминокислотных остатков, соединенных пептидными связями, является *первичной структурой* белка и представляет собой линейную молекулу (рис. 16). Закручиваясь в виде спирали, белковая нить приобретает более высокий уровень организации — *вторичную структуру*. И наконец, спираль полипептида сворачивается, образуя клубок (глобулу) или фибриллу. Именно такая *третичная структура* белка и является его биологически активной формой, обладающей индивидуальной специфичностью. Однако для ряда белков третичная структура не является окончательной.



Рис. 14. Общая структурная формула аминокислот, входящих в состав белков

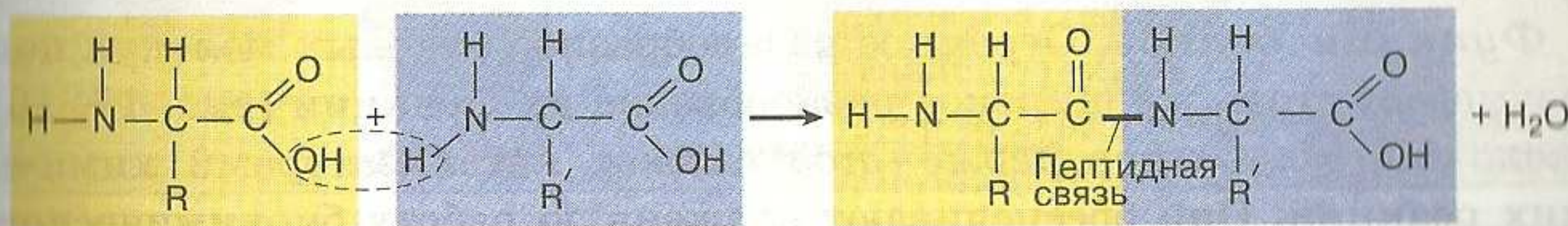


Рис. 15. Образование пептидной связи между двумя аминокислотами

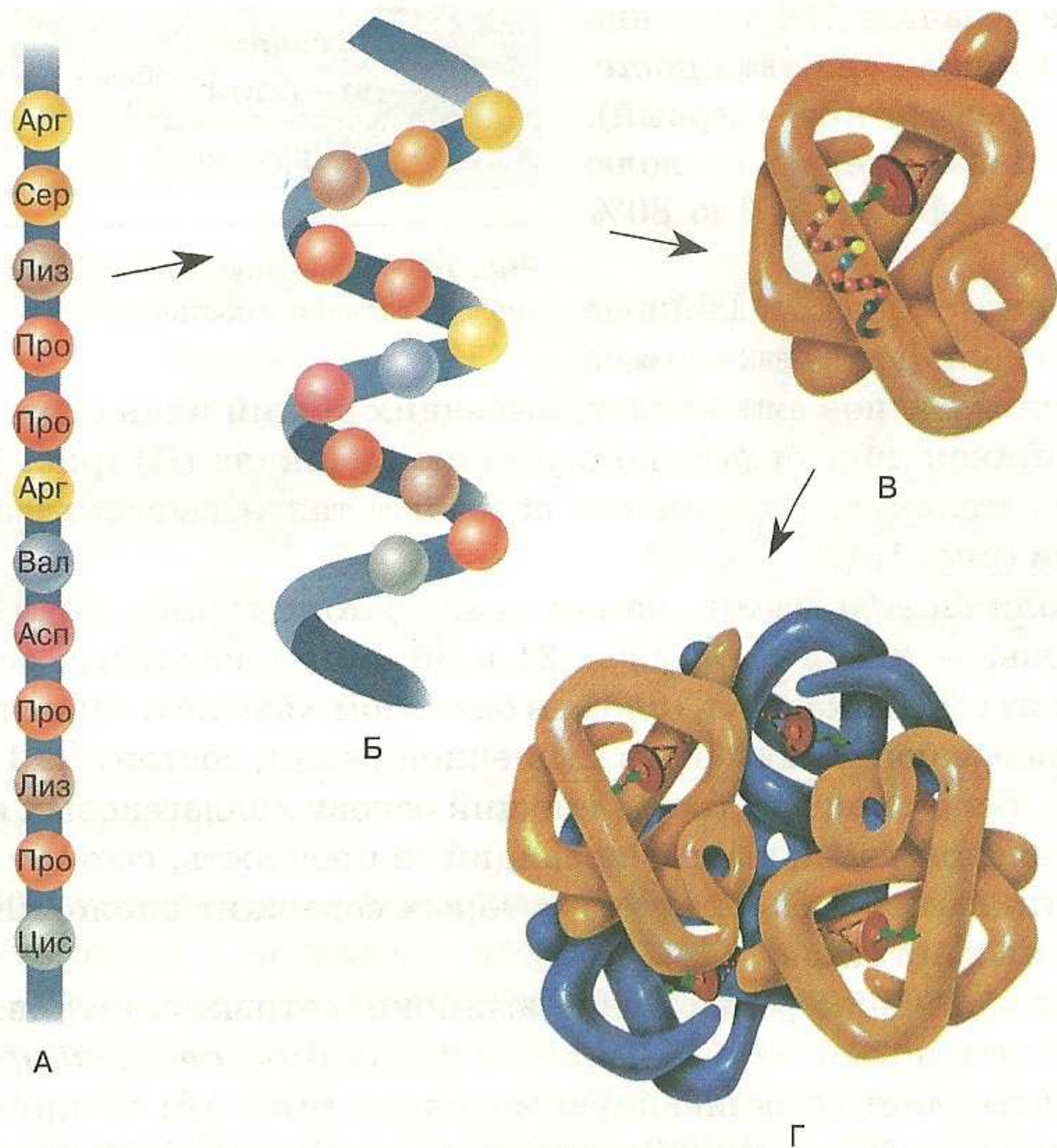


Рис. 16. Строение белковой молекулы: А — первичная; Б — вторичная; В — третичная; Г — четвертичная структуры

Может существовать *четвертичная структура* — объединение нескольких белковых глобул или фибрилл в единый рабочий комплекс. Так, например, сложная молекула гемоглобина состоит из четырех полипептидов, и только в таком виде она может выполнять свою функцию.

Функции белков. Огромное разнообразие белковых молекул подразумевает столь же широкое разнообразие их функций (рис. 17, 18). Около 10 тыс. *белков-ферментов* служат катализаторами химических реакций. Они обеспечивают слаженную работу биохимического ансамбля клеток живых организмов, ускоряя во много раз скорость химических реакций.



Рис. 17. Основные группы белков

Вторая по величине группа белков выполняет *структурную* и *двигательную* функции. Белки участвуют в образовании всех мембран и органоидов клетки. Коллаген входит в состав межклеточного вещества соединительной и костной ткани, а основным компонентом волос, рогов и перьев, ногтей и копыт является белок кератин. Сократительную функцию мышц обеспечивают актин и миозин.

Транспортные белки связывают и переносят различные вещества и внутри клетки, и по всему организму.



Рис. 18. Синтезированные белки или остаются в клетке для внутриклеточного применения, или выводятся наружу для использования на уровне организма

■ Например, соматотропный гормон, вырабатываемый гипофизом, регулирует общий обмен веществ и влияет на рост. Недостаток или избыток этого гормона в детском возрасте приводит, соответственно, к развитию карликовости или гигантизма.

Белки-гормоны обеспечивают регуляторную функцию. ■

Чрезвычайно важна *защитная* функция белков. При попадании в организм человека чужеродных белков, вирусов или бактерий на защиту встают иммуноглобулины — защитные белки. Фибриноген и протромбин обеспечивают свертываемость крови, предохра-

няя организм от кровопотери. Есть у белков и защитная функция несколько иного рода. Многие членистоногие, рыбы, змеи и другие животные выделяют токсины — сильные яды белковой природы. Белками являются и самые сильные микробные токсины, например ботулиновый, дифтерийный, холерный.

При нехватке пищи в организме животных начинается активный распад белков до конечных продуктов, и тем самым реализуется *энергетическая* функция этих полимеров. При полном расщеплении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии.

Денатурация и ренатурация белков. Денатурация — это утрата белковой молекулой своей структурной организации: четвертичной, третичной, вторичной, а при более жестких условиях — и первичной структуры (рис. 19). В результате денатурации белок теряет способность выполнять свою функцию. Причиной денатурации могут



Рис. 19. Денатурация белка

быть высокая температура, ультрафиолетовое излучение, действие сильных кислот и щелочей, тяжелых металлов и органических растворителей. ■

Денатурация может быть обратимой и необратимой, частичной и полной. Иногда, если воздействие денатурирующих факторов оказалось не слишком сильным и разрушение первичной структуры молекулы не произошло, при наступлении благоприятных условий денатурированный белок может вновь восстановить свою трехмерную форму. Этот процесс называется *ренатурацией*, и он убедительно доказывает зависимость третичной структуры белка от последовательности аминокислотных остатков, т. е. от его первичной структуры.

■ Дезинфицирующее свойство этилового спирта основано на его способности вызывать денатурацию бактериальных белков, что приводит к гибели микроорганизмов.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие химические соединения называют углеводами?
2. Что такое моно- и дисахариды? Приведите примеры.
3. Какой простой углевод служит мономером крахмала, гликогена, целлюлозы?
4. Из каких органических соединений состоят белки?
5. Как образуются вторичная и третичная структуры белка?
6. Назовите известные вам функции белков.
7. Что такое денатурация белка? Что может явиться причиной денатурации?

2.6. Органические вещества. Нуклеиновые кислоты

Вспомните!

Почему нуклеиновые кислоты относят к гетерополимерам?

Что является мономером нуклеиновых кислот?

Какие функции нуклеиновых кислот вам известны?

Какие свойства живого определяются непосредственно строением и функциями нуклеиновых кислот?

В 1868 г. швейцарский врач и биохимик Иоганн Фридрих Мишер выделил из ядер погибших лейкоцитов вещество, обладающее кислыми свойствами. Ученый назвал это вещество нуклеином (от лат. *nucleus* —

ядро), считая, что оно содержится только в ядрах клеток. Позднее эти органические соединения были обнаружены также в цитоплазме, митохондриях, пластидах, но данное им название — нуклеиновые кислоты — сохранилось.

Значение нуклеиновых кислот в клетке чрезвычайно велико. Особенности их строения позволяет им выполнять функции хранения, реализации и передачи наследственной информации, т. е. практически определять основные свойства живого. Поэтому изучение структуры нуклеиновых кислот очень важно для понимания принципов функционирования живых организмов.

Существует два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) и рибонуклеиновая кислота (РНК), присутствующие

во всех клетках. Исключением являются вирусы — неклеточная форма жизни, некоторые из которых содержат исключительно РНК, а другие — только ДНК.

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). В середине XX в., когда роль ДНК в передаче признаков из поколения в поколение уже была доказана, структура и организация этих биополимеров была окончательно еще неясна. Было известно, что молекулы ДНК состоят из мономеров — нуклеотидов, каждый из которых содержит остаток фосфорной кислоты, сахар — дезоксирибозу и одно из четырех азотистых оснований — аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т) или цитозин (Ц); т. е. существует четыре типа нуклеотидов (рис. 20). Но вопрос о том, есть ли какая-нибудь закономерность в расположении этих мономеров в цепи ДНК, оставался открытым.

В начале 50-х гг. XX в. профессор биохимии Колумбийского университета Эрвин Чаргафф определил состав ДНК с гораздо большей точно-

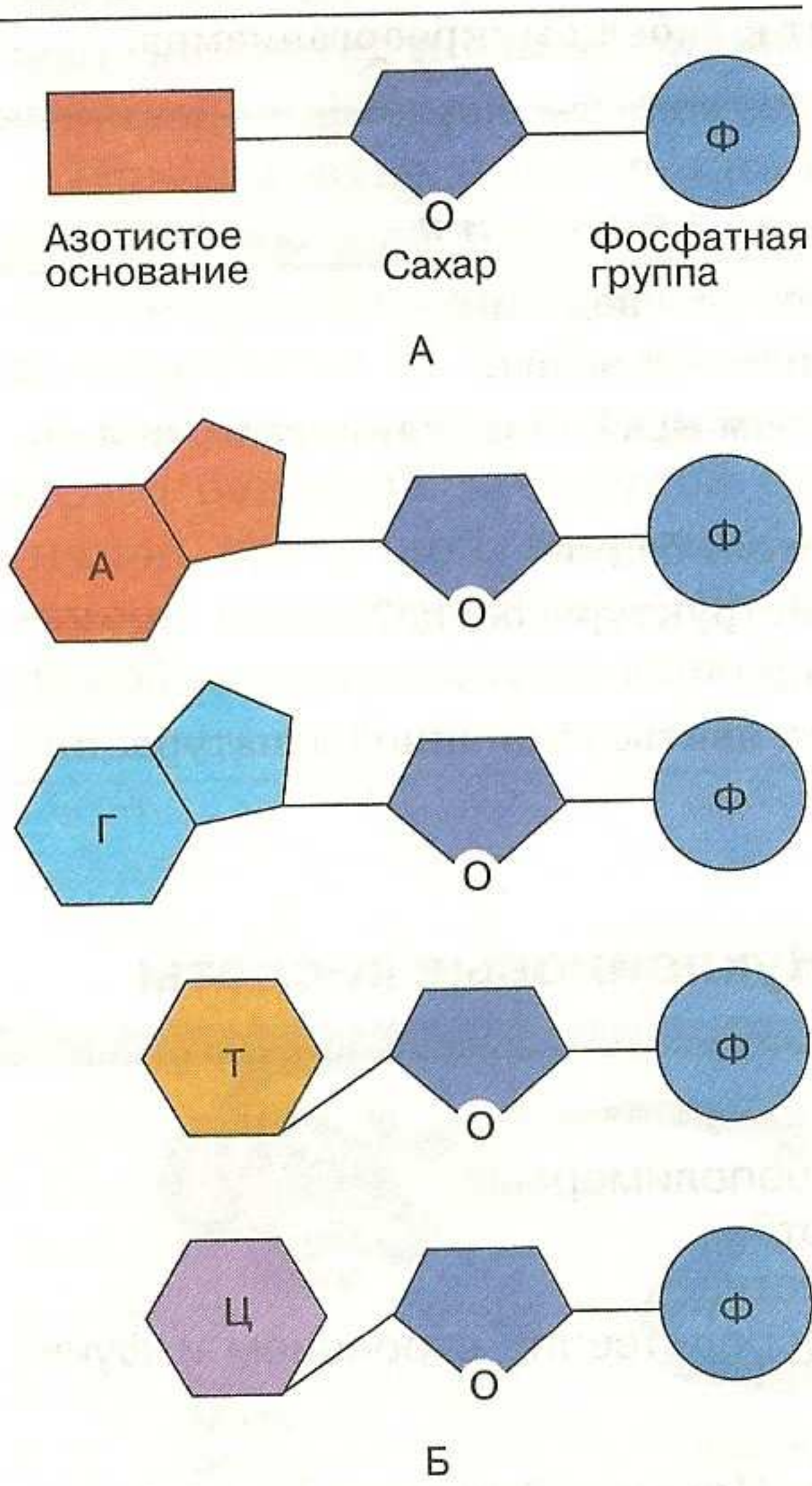


Рис. 20. Общая формула нуклеотида (А) и четыре типа нуклеотидов ДНК (Б)

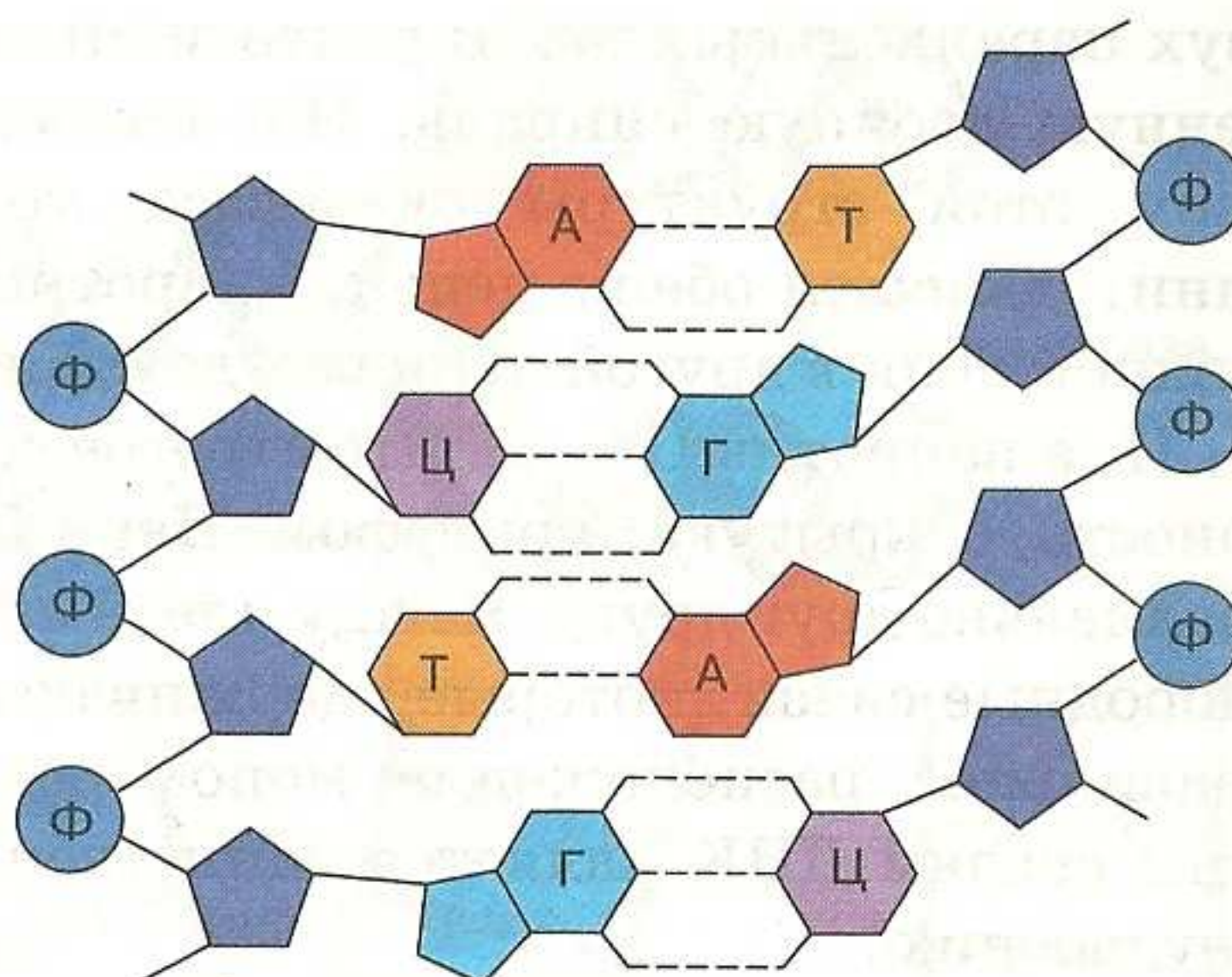
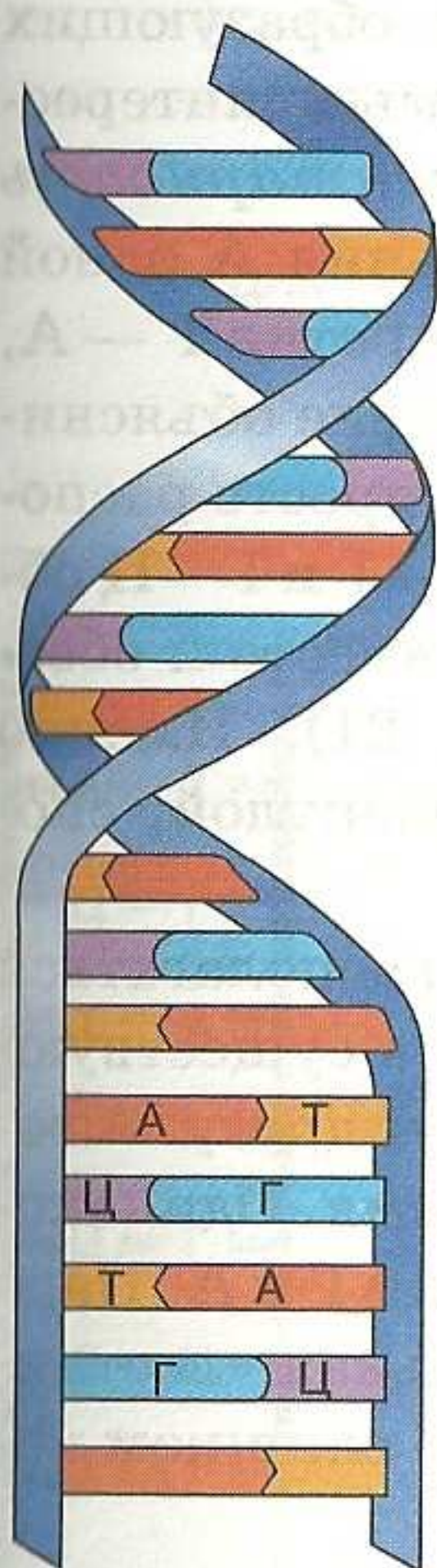


Рис. 21. Образование водородных связей между комплементарными основаниями двух цепей ДНК

стью по сравнению с предыдущими исследованиями. Он обнаружил, что содержание четырех типов оснований в ДНК вовсе не соответствует соотношению 1:1:1:1, как предполагали ранее. Особенно поразило исследователя то, что количество аденина (А) всегда было равно количеству тимина (Т), а содержание гуанина (Г) всегда было равно содержанию цитозина (Ц). Это не могло быть простым совпадением. Например, в ДНК человека оказалось 30% А, 30% Т, 20% Г и 20% Ц. Причем выяснилось, что состав ДНК клеток качественно и количественно неодинаков у разных организмов, но идентичен в органах и тканях одного и того же организма. Это еще раз подтверждало, что именно ДНК является химической основой наследственности.

Эта закономерность соотношения количества аденина и тимина (А—Т) и гуанина и цитозина (Г—Ц) получила название *правило Чаргаффа* и послужила ключом к разгадке структуры ДНК.

В 1953 г. физик Ф. Крик и генетик Дж. Уотсон, работавшие в лаборатории Кембриджского университета, расшифровали пространственную структуру ДНК. Оказалось, что дезоксирибонуклеиновая кислота

состоит из двух параллельных полинуклеотидных цепей, образующих правозакрученную двойную спираль. Но, пожалуй, самым интересным свойством этой структуры оказалась *комплементарность* (взаимодополнительность) обеих цепей: напротив основания А одной полинуклеотидной цепи в другой цепи всегда стоит Т, напротив Т — А, напротив Г — Ц, а напротив Ц — Г. Это строгое соответствие объяснило закономерность, открытую Чаргафтом. Цепи ДНК не просто располагаются параллельно друг другу, между членами пар А—Т и Г—Ц образуются водородные связи, которые удерживают цепи вместе и обеспечивают правильное расположение мономеров (рис. 21). Именно благодаря этим связям ДНК является единственной молекулой, способной к самоудвоению.

Но почему именно А—Т и Г—Ц? Почему не могут располагаться друг напротив друга, например, А и Ц? Дело в том, что в существующих комбинациях основания оптимально «подходят» друг другу: А соединяется с Т двумя водородными связями, а Г с Ц — тремя. Одинаковые по размеру основания Ц и Т гораздо меньше оснований Г и А. Пара Т—Ц была бы слишком мала, а А—Г — велика, и спиральная «лестница» ДНК искривилась бы, имея то слишком длинные, то слишком короткие «перекладины».

Функции ДНК. Выделяют три основные функции ДНК.

Хранение наследственной информации. Порядок расположения нуклеотидов в молекуле ДНК определяет порядок расположения аминокислот в молекулах белков, т. е. их первичную структуру. Различия между организмами определяются различиями в их белковом составе. Именно белки формируют свойства клетки и организма в целом. Поэтому молекулы ДНК, в которых с помощью генетического кода (§ 2.10) зашифрована информация о белках, по сути, содержат информацию о всех свойствах и признаках организма. Участок молекулы ДНК, кодирующий первичную структуру одной полипептидной цепи, называют *геном*.

Передача наследственной информации следующему поколению. Эта функция осуществляется благодаря способности ДНК к удвоению (*редупликации*) (рис. 22). Специальный фермент раскручивает молекулу ДНК, водородные связи между основаниями разрываются и цепи расходятся. Затем на каждой цепи ДНК фермент ДНК-полимераза по принципу комплементарности строит новую цепь. В итоге образуются две совершенно идентичные молекулы ДНК, в каждой из кото-

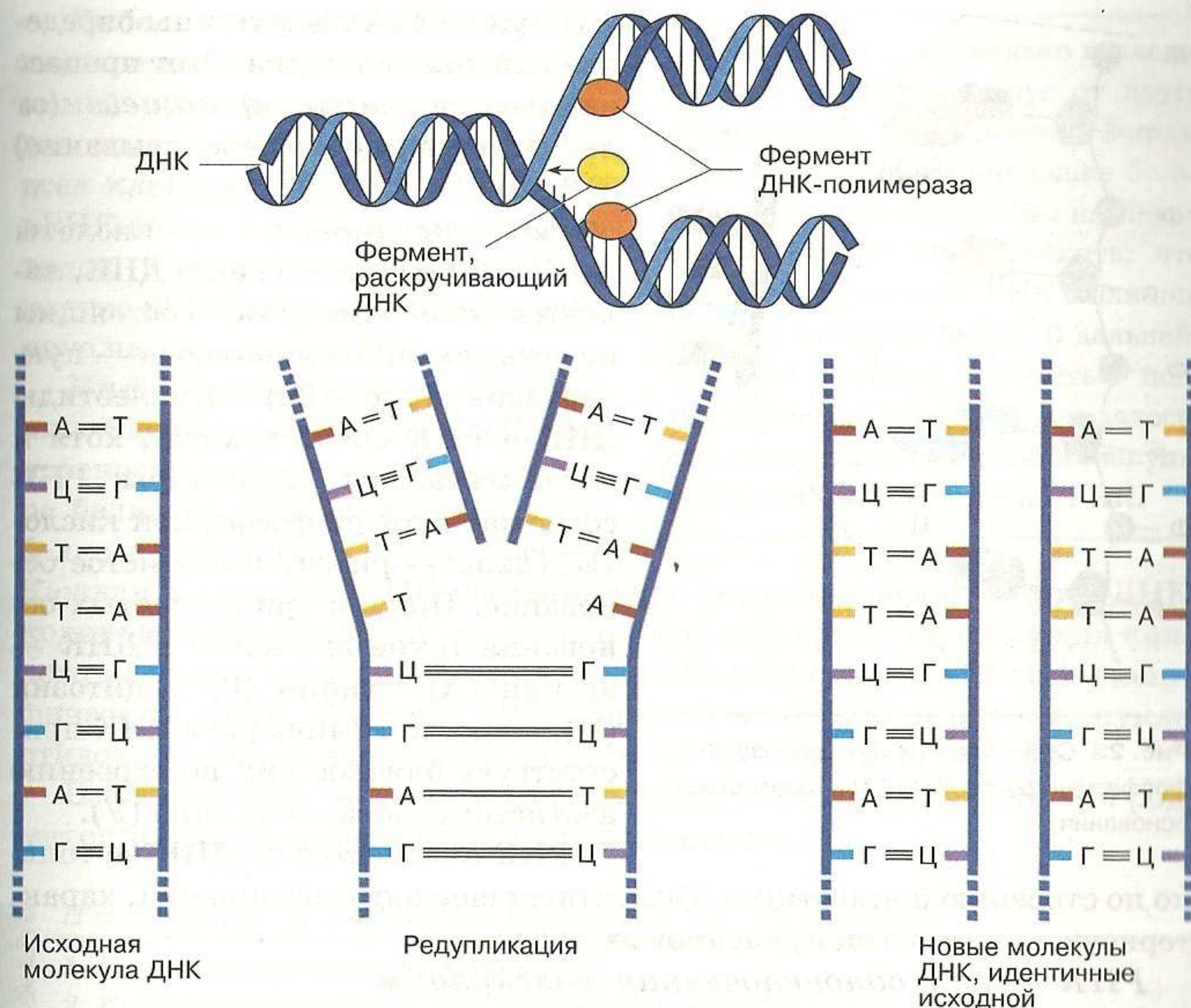


Рис. 22. Редупликация ДНК

рых одна цепь является материнской, так называемой матричной, а вторая — дочерней. Такой способ редупликации называется полуконсервативным. В дальнейшем в процессе деления образовавшиеся молекулы ДНК распределяются между дочерними клетками, обеспечивая точную передачу наследственной информации.

Передача генетической информации из ядра в цитоплазму. Белок синтезируется в цитоплазме клетки, а информация о его структуре хранится в ДНК ядра. Следовательно, нужен некий посредник, передающий информацию от ДНК к месту синтеза белка. В роли такого посредника выступает информационная РНК, которая синтезируется по принципу комплементарности на одной из цепей ДНК, ис-

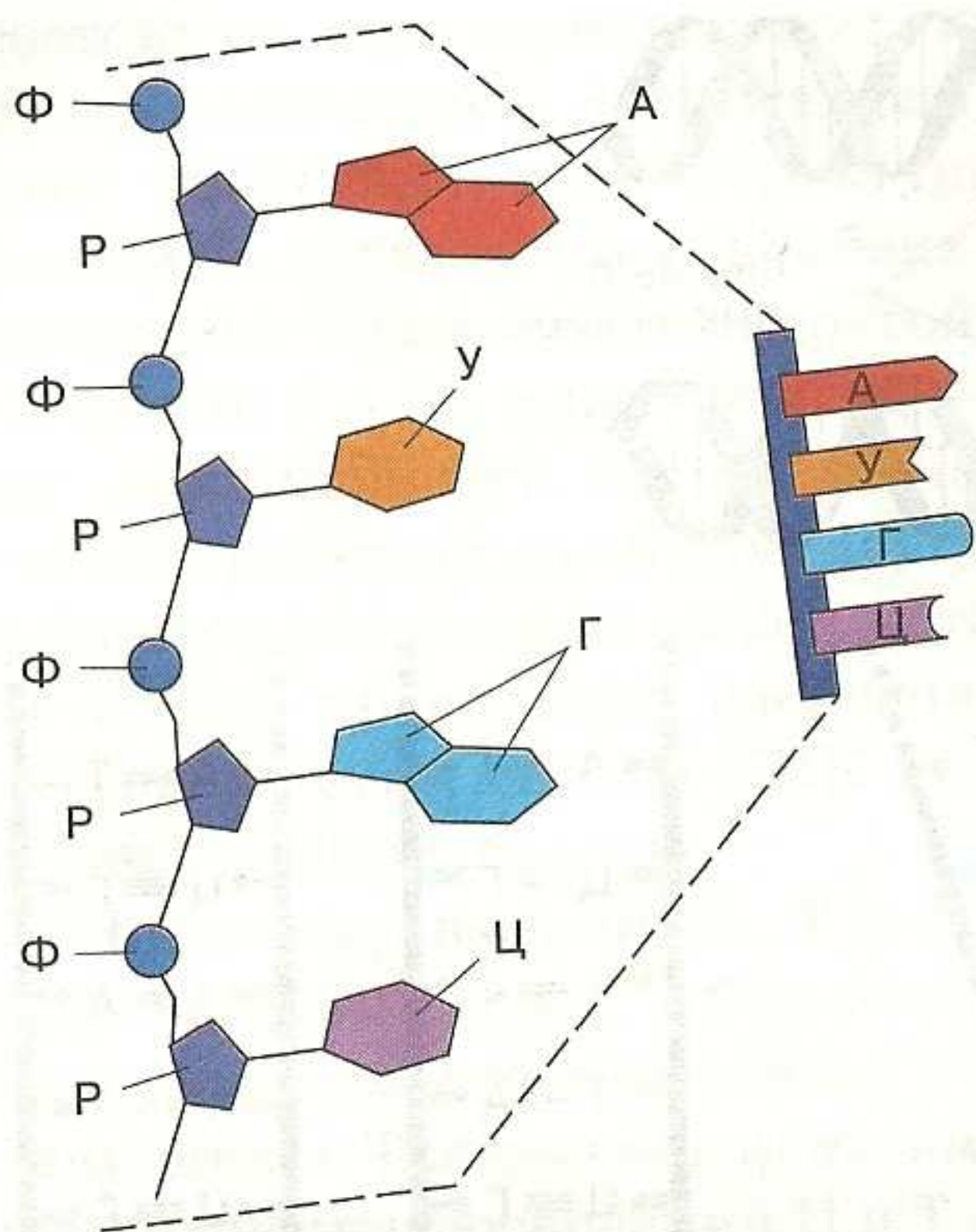


Рис. 23. Структура РНК (Р — рибоза, Ф — фосфатная группа, А, У, Г, Ц — азотистые основания)

пользуя в качестве матрицы определенный участок — ген. Этот процесс называется *транскрипцией* (от лат. transcriptio — переписывание) (§ 2.10).

Рибонуклеиновые кислоты (РНК). РНК, так же как и ДНК, является биополимером, состоящим из четырех типов мономеров — нуклеотидов (рис. 23). Нуклеотиды ДНК и РНК очень похожи, хотя и нетождественны. Мономеры РНК содержат остаток фосфорной кислоты, сахар — рибозу и азотистое основание. Причем три азотистых основания такие же, как и в ДНК — аденин (А), гуанин (Г) и цитозин (Ц), а вместо тимина (Т) в РНК присутствует близкое ему по строению азотистое основание урацил (У).

РНК отличается от ДНК не только по строению нуклеотидов. Существует еще ряд особенностей, характеризующих этот тип нуклеиновых кислот.

РНК — это одноцепочечная молекула. ■

Если содержание ДНК в клетках организмов одного вида практически постоянно, то количество РНК может существенно варьировать. ■

В зависимости от строения и конкретной выполняемой функции различают три основных вида РНК.

■ Двухцепочечная РНК обнаружена только у некоторых РНК-содержащих вирусов, где она выполняет функцию хранения генетической информации. Сходство строения ДНК и двухцепочечной РНК определяет и сходство функций.

Транспортная РНК (тРНК)

в основном находится в цитоплазме клетки. Небольшие по размеру, состоящие всего из 75—90 нуклеотидов, молекулы тРНК составляют не более 15% от общего количества РНК в клетке. Функция тРНК — перенос аминокислот к месту синтеза белка в рибосому.

Рибосомальная РНК (рРНК), связываясь с определенными белками, образует рибосомы — органоиды, обеспечивающие синтез всех клеточных белков. Молекулы рРНК состоят из 3—5 тыс. нуклеотидов. Среди всех видов РНК в клетке рРНК составляет подавляющую часть — около 80%.

Информационная (иРНК), или **матричная РНК (мРНК)**, переносит информацию о структуре белка от ДНК к месту синтеза белка в цитоплазме — к рибосоме.

Каждая молекула иРНК соответствует определенному участку ДНК, кодирующему структуру одной белковой молекулы. Поэтому для каждого из тысяч синтезируемых клеткой белков существует своя специфическая иРНК. Размеры иРНК варьируют от 300 до 30 тыс. нуклеотидов. От общей массы РНК в клетке иРНК составляет 3—5%.

Все виды РНК синтезируются на ДНК, которая служит своего рода матрицей для создания этих полинуклеотидов.

■ Еще в 1941 г. несколько исследователей независимо друг от друга обнаружили, что особенно богаты РНК клетки, синтезирующие большое количество белка. Это наблюдение позволило предположить, что основной функцией РНК является участие в синтезе белка. В дальнейшем эта гипотеза полностью подтвердилась. Более того, оказалось, что для синтеза белковой молекулы требуется несколько видов РНК.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое нуклеиновые кислоты?
2. Какие типы нуклеиновых кислот вы знаете?
3. Чем различается строение молекул ДНК и РНК?
4. Назовите функции ДНК.
5. Какие виды РНК существуют в клетке, где они синтезируются? Перечислите их функции.

2.7. Эукариотическая клетка. Цитоплазма. Органоиды

Вспомните!

Каковы основные положения клеточной теории?

Какие выделяют типы клеток в зависимости от расположения генетического материала?

Назовите известные вам органоиды клетки. Какие функции они выполняют?

Животная клетка

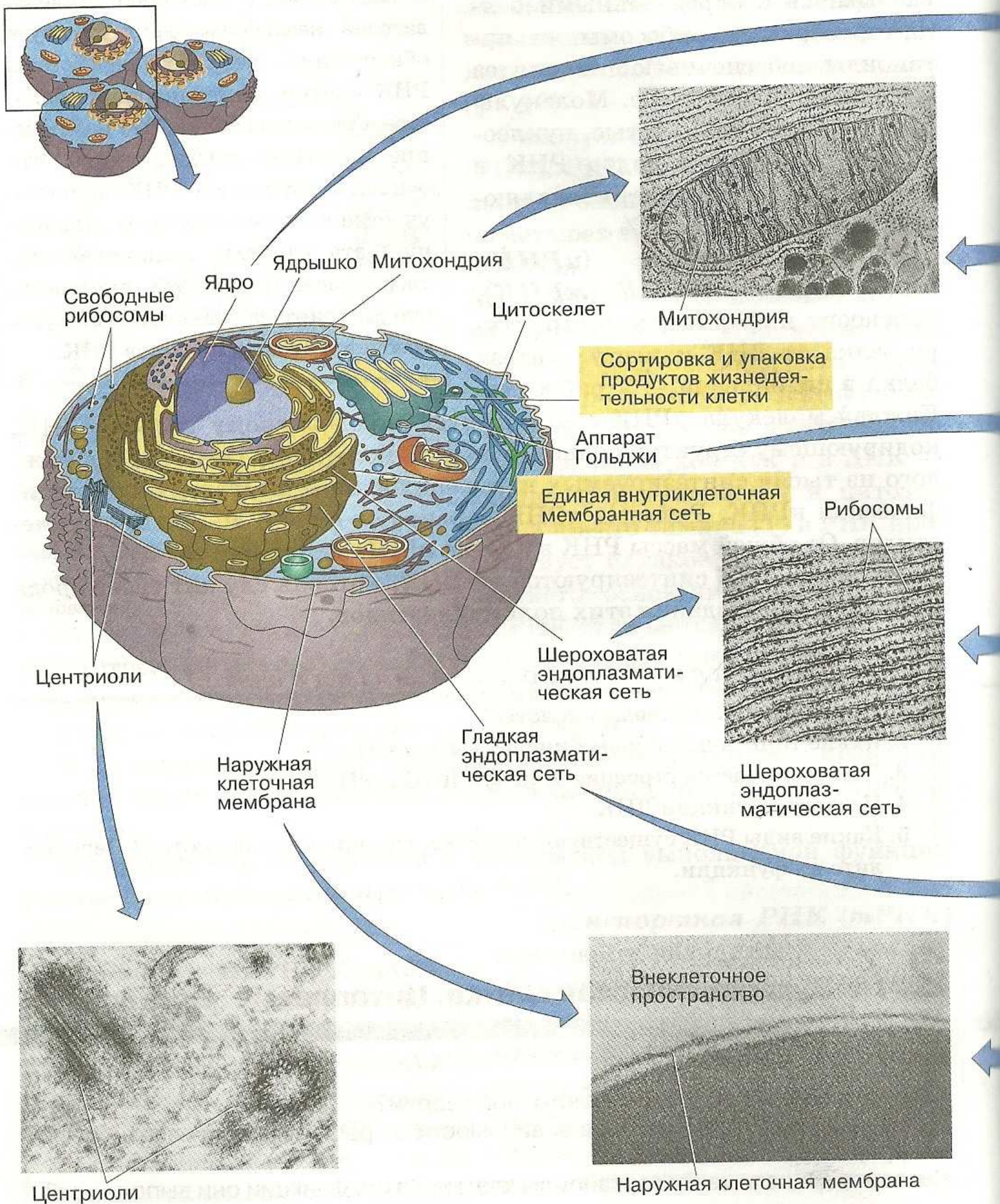
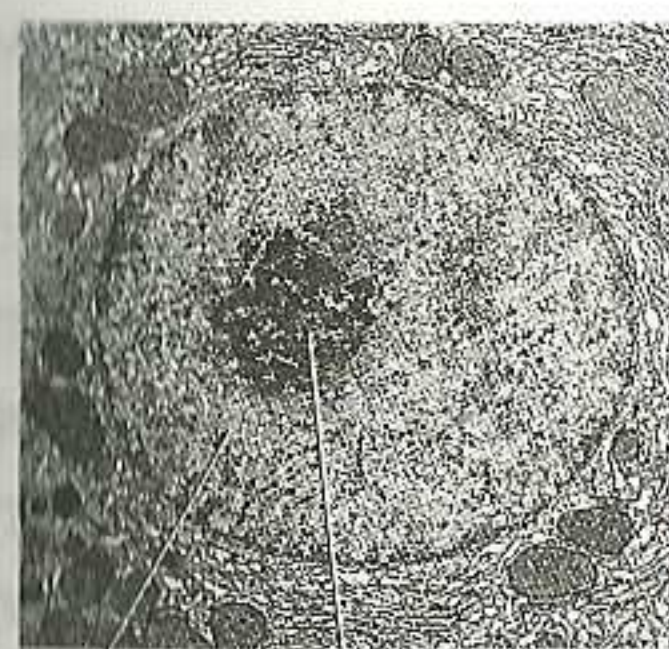
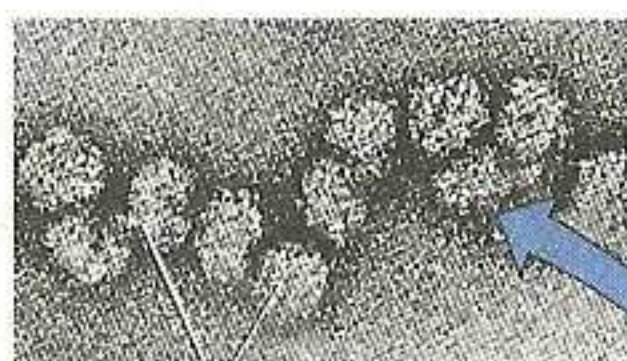


Рис. 24. Строение эукариотических клеток

Растительная клетка

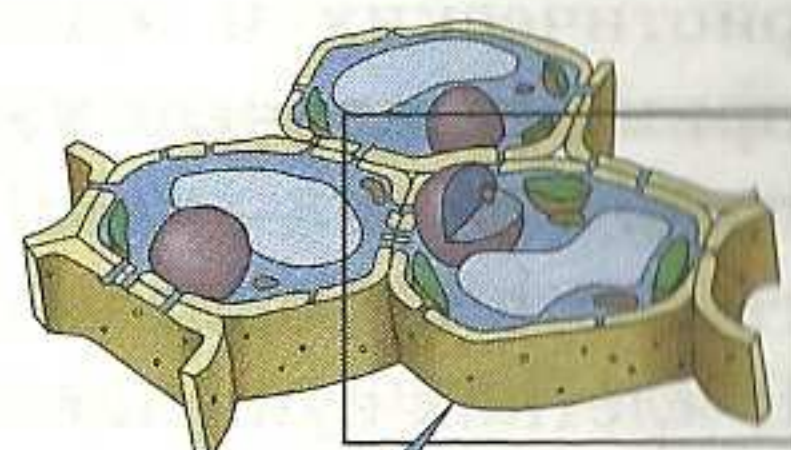


Ядро Ядрышко



Рибосомы

Рибосомы синтезируют белок



Цитоскелет состоит из микротрубочек и микрофиламентов



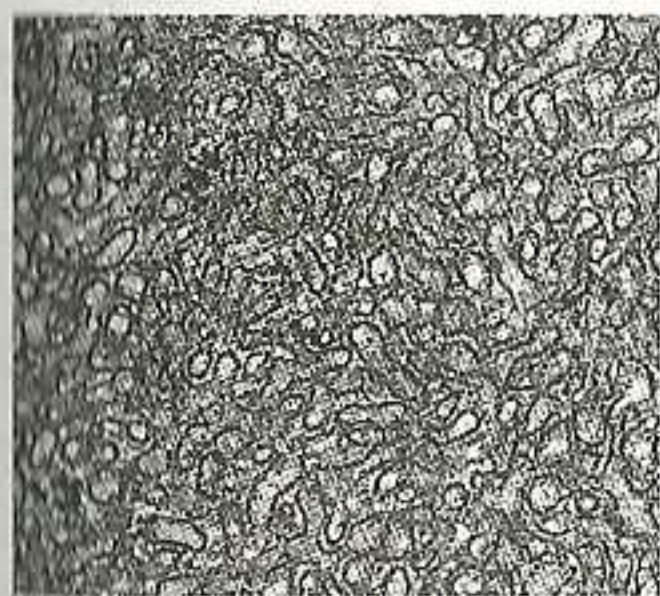
Аппарат Гольджи

Митохондрия

Аппарат Гольджи

Шероховатая эндоплазматическая сеть

Гладкая эндоплазматическая сеть



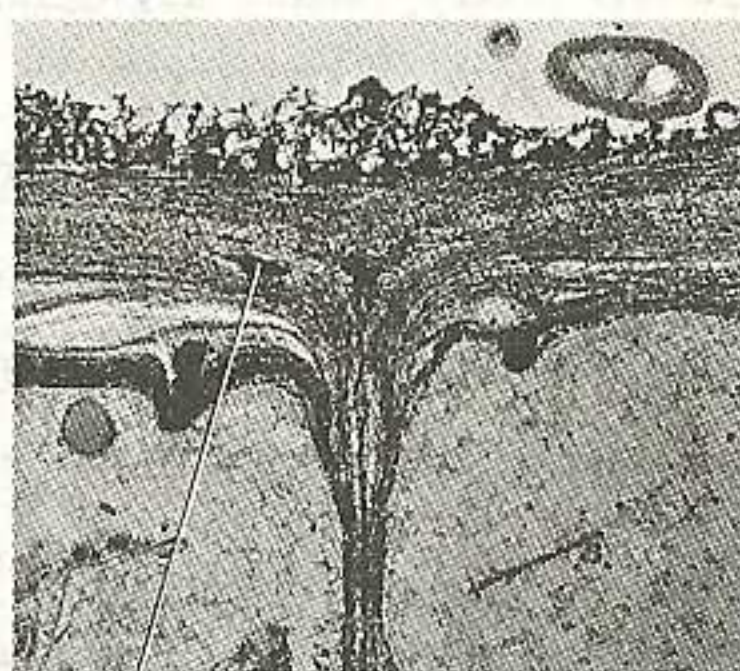
Гладкая эндоплазматическая сеть

Наружная клеточная мембрана отделяет внутреннее содержимое клетки от окружающей среды

Наружная клеточная мембрана

Клеточную стенку имеют растительные клетки

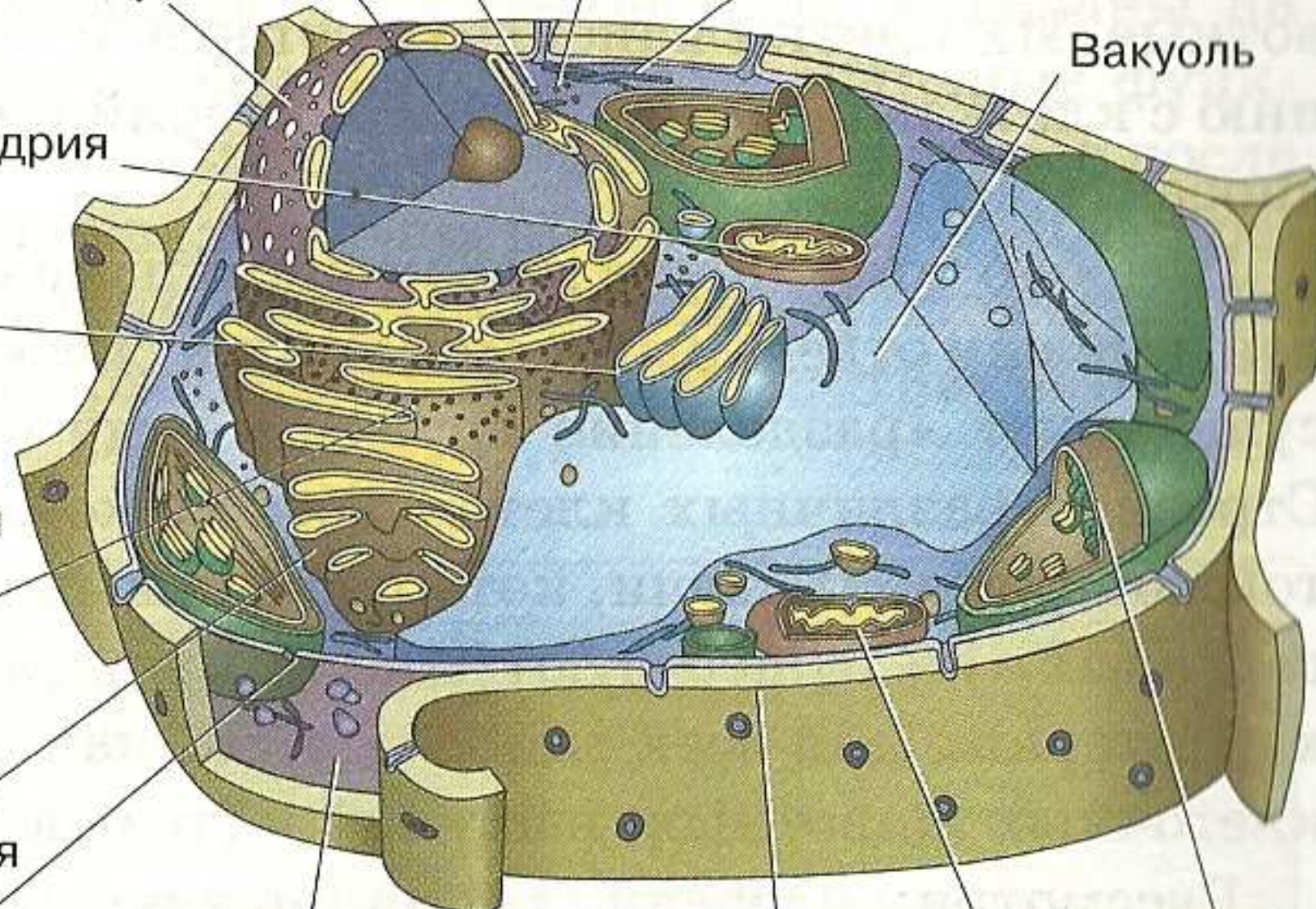
В митохондриях синтезируется АТФ



Клеточная стенка



Хлоропласт



Вакуоль

Хлоропласт

В § 2.1 мы уже говорили о существовании двух типов клеток — прокариотических и эукариотических, различия между которыми носят принципиальный характер. У прокариот (от лат. pro — до, перед и греч. karyon — ядро) ДНК не окружена мембраной и свободно располагается в цитоплазме, т. е. у них нет настоящего оформленного ядра. В клетках эукариот (от греч. eu — полностью, хорошо) присутствует ядро. В настоящее время большинство ученых считает, что эукариотические клетки в процессе эволюции произошли от прокариотических. Чуть позже мы с вами рассмотрим эту гипотезу, но прежде нам надо изучить принципиальное строение клеток.

К эукариотическим организмам относятся грибы, растения и животные. Их клетки наиболее крупные и сложно устроенные по сравнению с клетками прокариот — бактерий и синезеленых водорослей (цианобактерий).

Подобно тому, как в любом организме основные функции распределены между отдельными органами и системами органов, в клетке тоже существует «разделение труда» между структурами и органоидами. Строение различных клеток несколько отличается в зависимости от той конкретной задачи, которую они выполняют в многоклеточных организмах, но существуют общие принципы клеточной организации, характерные для всех типов клеток, как одноклеточных, так и многоклеточных животных, растений и грибов.

Рассмотрим строение типичной эукариотической клетки (рис. 24).

В каждой клетке можно выделить три основные части: наружная клеточная мембрана, которая отделяет содержимое клетки от внешней среды; ядро — обязательный компонент эукариотических клеток, в котором хранится наследственная информация; и цитоплазма — часть клетки, заключенная между наружной мембраной и ядром.

Наружная клеточная мембрана. Термин «мембрана» (от лат. membrana — кожа, оболочка) был предложен более 100 лет назад для обозначения границ клетки. Однако в дальнейшем с развитием электронной микроскопии было обнаружено, что клеточные мембраны входят в состав многих структурных элементов клетки. Первая гипотеза строения мембраны была выдвинута еще в 1935 г. А в 1959 г. Вильям Робертсон сформулировал гипотезу элементарной мембраны; в ней постулировалось, что все клеточные мембраны построены по единому принципу. К началу 70-х гг. XX в. накопилось много новых данных, на основании которых в 1972 г. была предложена новая *жидкост-*

но-мозаичная модель строения мембраны, которая в настоящее время является общепризнанной.

Согласно этой модели основой любой мембраны является двойной слой фосфолипидов; в нем гидрофобные остатки жирных кислот обращены внутрь, а гидрофильные головки, включающие глицерин и остаток фосфорной кислоты, — наружу. С липидным бислоем связаны молекулы белков, которые могут пронизывать его насквозь, погружаться в него или примыкать с наружной или внутренней стороны. Расположение этих белков жестко не фиксировано, и большинство из них свободно «плавают», образуя подвижную мозаичную структуру (рис. 25).

Наружная клеточная мембрана имеет универсальное строение, типичное для всех клеточных мембран. Положение этой мембраны на границе клетки и окружающей среды определяет ее основные функции. Прочная и эластичная пленка, легко восстанавливающаяся после незначительных повреждений, является прекрасным *барьером*, предохраняющим клетку от попадания в нее чужеродных токсических веществ и обеспечивающим поддержание постоянства внутриклеточной среды.

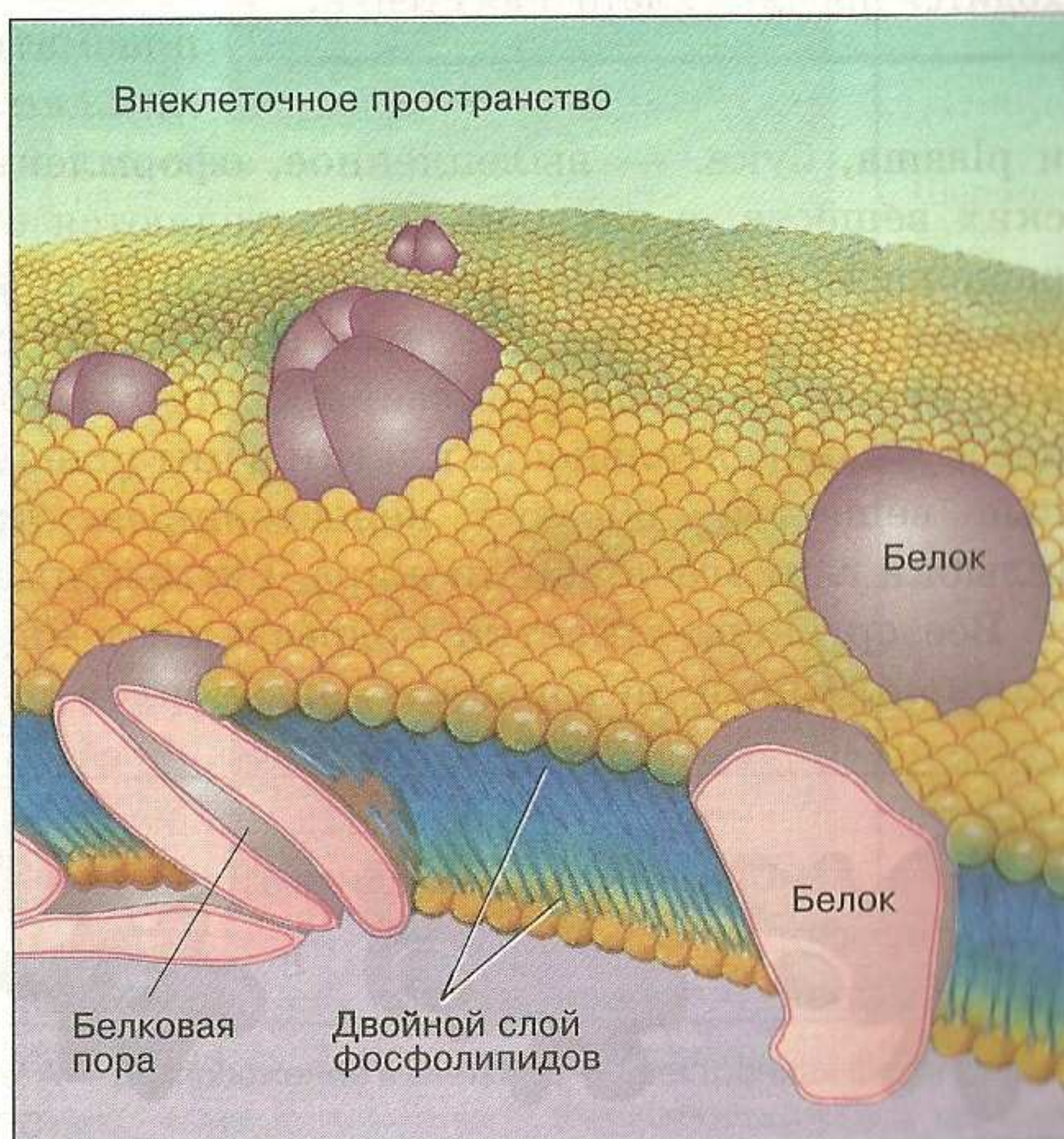


Рис. 25. Строение клеточной мембраны

Транспортная функция мембраны носит избирательный характер: одни вещества легко проникают внутрь клетки через специальные поры или с помощью белков-переносчиков, а для других — мембрана непроницаема. Будучи подвижной структурой, мембрана клетки может образовывать выросты, захватывая твердые частицы (фагоцитоз) (рис. 26) или капли жидкости (пиноцитоз), при этом образуются фагоцитозные или пиноцитозные вакуоли. Общее название пино- и фагоцитоза — эндоцитоз (от греч. *endon* — внутри). В клетке существует и обратный процесс — экзоцитоз (от греч. *exo* — вне). В процессе экзоцитоза вещества, синтезированные клеткой и упакованные в мембранные пузырьки, выбрасываются из клетки, при этом мембрана пузырька встраивается в клеточную мембрану.

■ Мембрана животных клеток снаружи покрыта тонким слоем углеводов и белков — гликокаликсом, а у клеток растений, грибов и бактерий снаружи от клеточной мембраны находится прочная клеточная стенка.

Клеточная мембрана обеспечивает также *взаимодействие* клетки с окружающей средой и с другими клетками в многоклеточном организме. ■

Цитоплазма. Основой цитоплазмы клетки является цитоплазматический сок — *гиалоплазма* (от греч. *hyalos* — стекло

и *plasma*, букв. — вылепленное, оформленное) — раствор органических веществ, в котором осуществляются биохимические реакции и располагаются постоянные структурные компоненты клетки — *органойды*. Гиалоплазма является средой для объединения всех клеточных структур и обеспечивает их химическое взаимодействие. В процессе жизнедеятельности клетки в цитоплазме откладываются различные вещества, образуя непостоянные структуры — *включения* (глыбки гликогена, капли жира, пигментные гранулы).

Все органойды клетки подразделяют на *мембранные* и *немембранные*. Среди мембранных органойдов существуют *одномембран-*

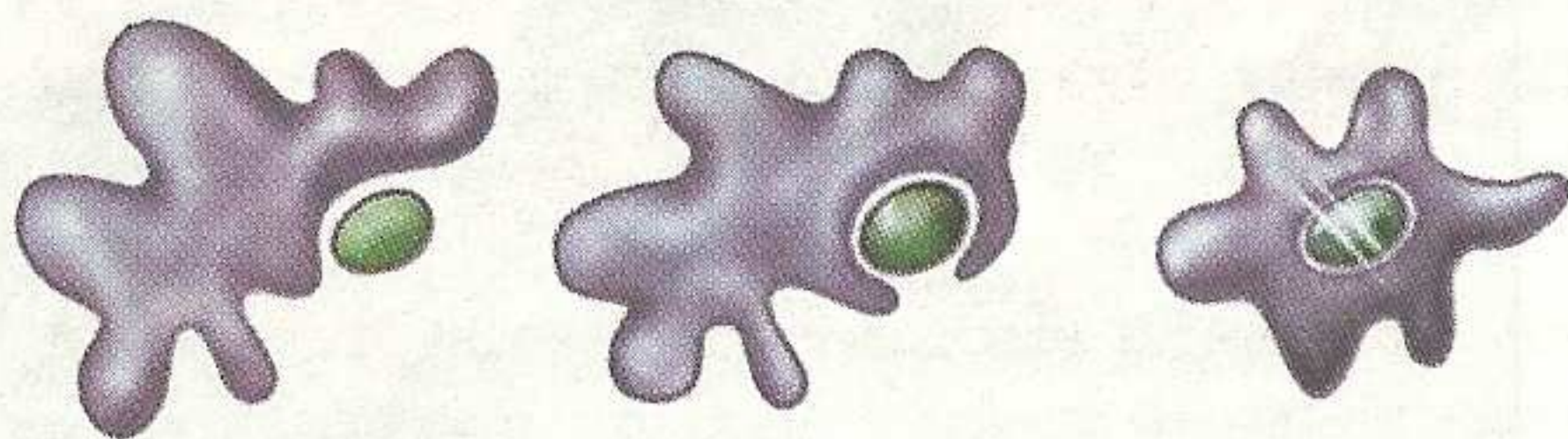


Рис. 26. Фагоцитоз. Амеба, поглощающая эвглену

ные (эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы) и *двух-мембранные* (митохондрии, пластиды).

Эндоплазматическая сеть (ЭПС). Этот органоид был открыт американским ученым Кейтом Робертсом Портером в 1945 г. Совокупность вакуолей, каналов, трубочек образует внутри цитоплазмы мембранную сеть, объединенную в единое целое с наружной мембраной ядерной оболочки. Различают два типа мембран эндоплазматической сети — *шероховатые (гранулярные)* и *гладкие (агранулярные)* (рис. 27).

На поверхности шероховатых мембран ЭПС располагаются рибосомы, которые синтезируют все белки, необходимые для обеспечения

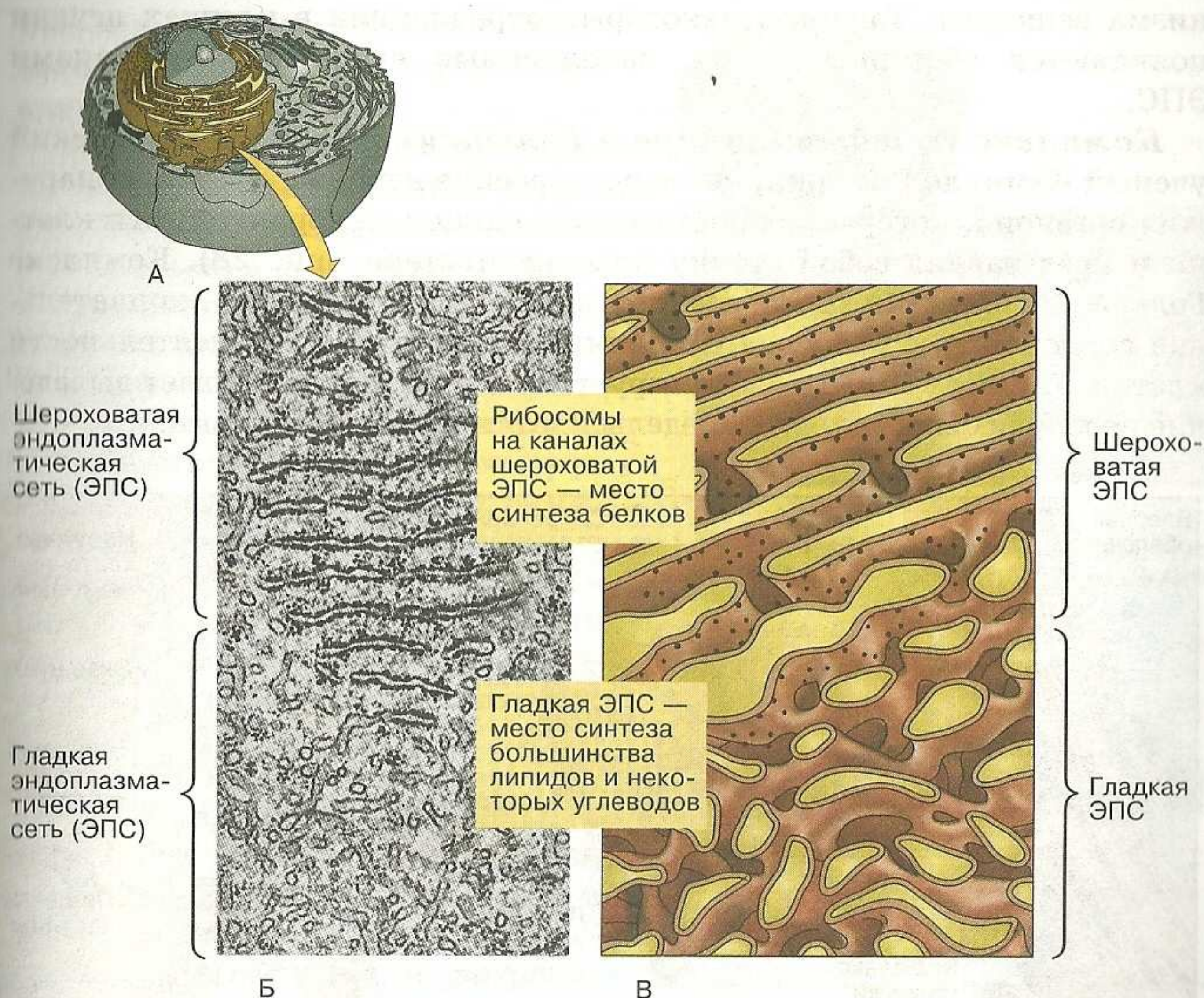


Рис. 27. Эндоплазматическая сеть: А — расположение в клетке; Б — электронная фотография участка ЭПС; В — схема участка ЭПС

■ Скопления шероховатой эндоплазматической сети характерны для клеток, активно синтезирующих секреторные белки. Например, в клетках печени, нервных клетках, в клетках поджелудочной железы шероховатая эндоплазматическая сеть образует обширные зоны.

жизнедеятельности клетки, а также продукты, выделяемые, т. е. секретируемые, клеткой. Синтезированные белковые молекулы поступают в каналы ЭПС. Там они модифицируются, а затем по системе каналов переносятся в ту часть клетки, где необходимы. ■

В отличие от гранулярной эндоплазматической сети на мемб-

ранах гладкой сети нет рибосом. Эта сеть участвует в синтезе липидов и углеводов, а также обезвреживает токсичные (ядовитые) для организма вещества. Так, при некоторых отравлениях в клетках печени появляются обширные зоны, заполненные гладкими мембранами ЭПС.

Комплекс Гольджи (аппарат Гольджи). В 1898 г. итальянский ученый Камилло Гольджи, исследуя строение нервных клеток, обнаружил органоид, который входил в состав единой мембранной сети клетки и представлял собой стопку плоских цистерн (рис. 28). Комплекс Гольджи играет роль своеобразного центра, где происходит окончательная сортировка и упаковка различных продуктов жизнедеятельности клетки. Аппарат Гольджи формирует лизосомы и обеспечивает выведение необходимых белков за пределы клетки путем экзоцитоза.

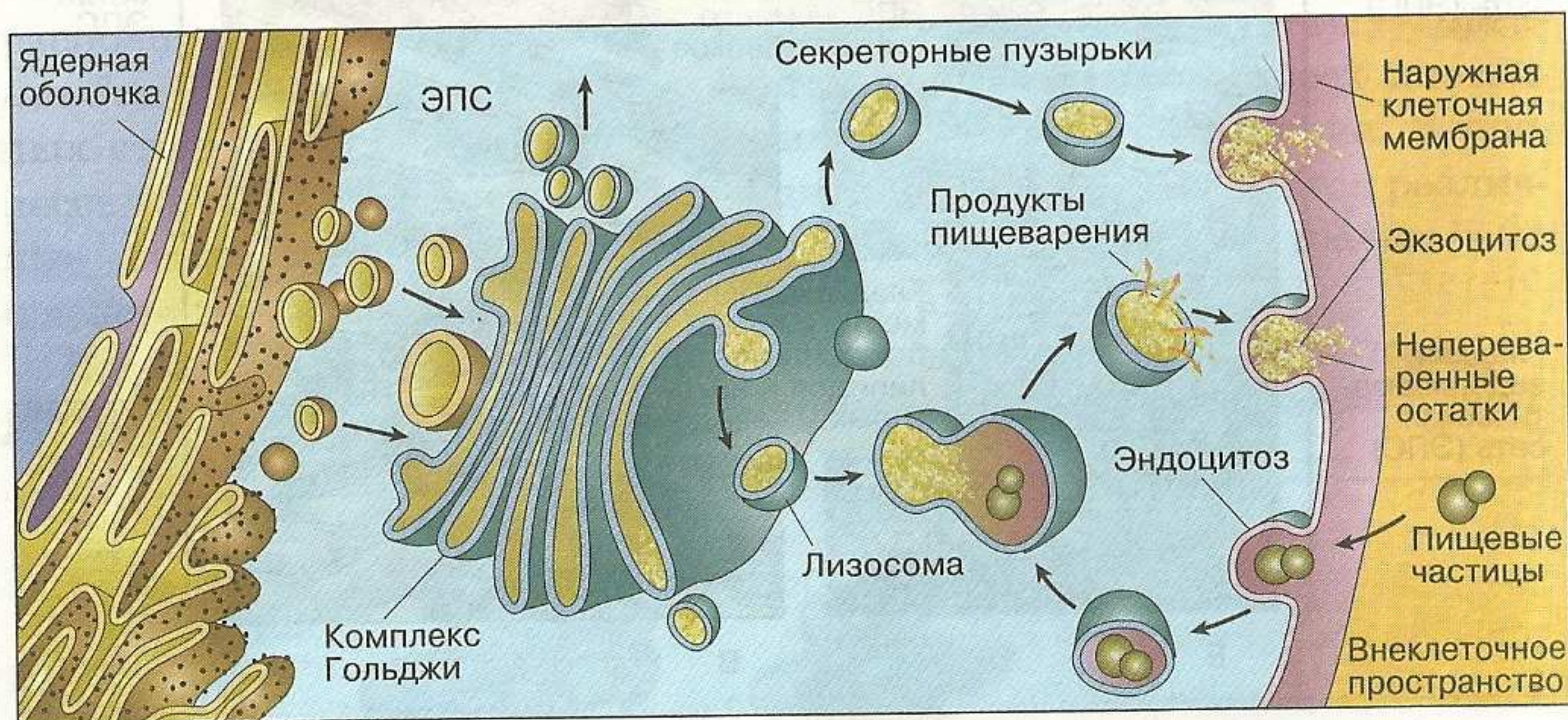


Рис. 28. Строение и функционирование аппарата Гольджи

Лизосомы. Это мелкие мембранные пузырьки диаметром 0,5 мкм, которые впервые были обнаружены при помощи электронного микроскопа в 1955 г. Они образуются в комплексе Гольджи или непосредственно в ЭПС и содержат разнообразные пищеварительные ферменты. Лизосомы участвуют во внутриклеточном пищеварении, образуя пищеварительные вакуоли, а также уничтожают отслужившие органоиды и даже целые клетки. Если содержимое лизосом высвобождается внутри самой клетки, то наступает саморазрушение клетки — автолиз, поэтому лизосомы называют «орудиями самоубийства» клетки. ■

Митохондрии. Эти органоиды имеют двухмембранное строение. Внешняя мембрана митохондрий гладкая, а внутренняя образует различные выросты (кристы) (рис. 29). Основная функция митохондрий — синтез АТФ, основного высокоэнергетического вещества клетки, поэтому их называют энергетическими станциями клетки. Митохондрии имеют собственные рибосомы и ДНК, поэтому способны самостоятельно синтезировать белки. В живых клетках митохондрии могут перемещаться, сливаться друг с другом, делиться. Их количество в клетке сильно варьирует — от единиц до нескольких тысяч, обычно митохондрий больше в тех участках цитоплазмы и в тех клетках, где существует повышенная потребность в энергии. Особенно богаты митохондриями мышечные ткани и клетки нервной ткани.

■ Именно лизосомы обеспечивают исчезновение хвоста головастика в процессе его превращения во взрослую лягушку.

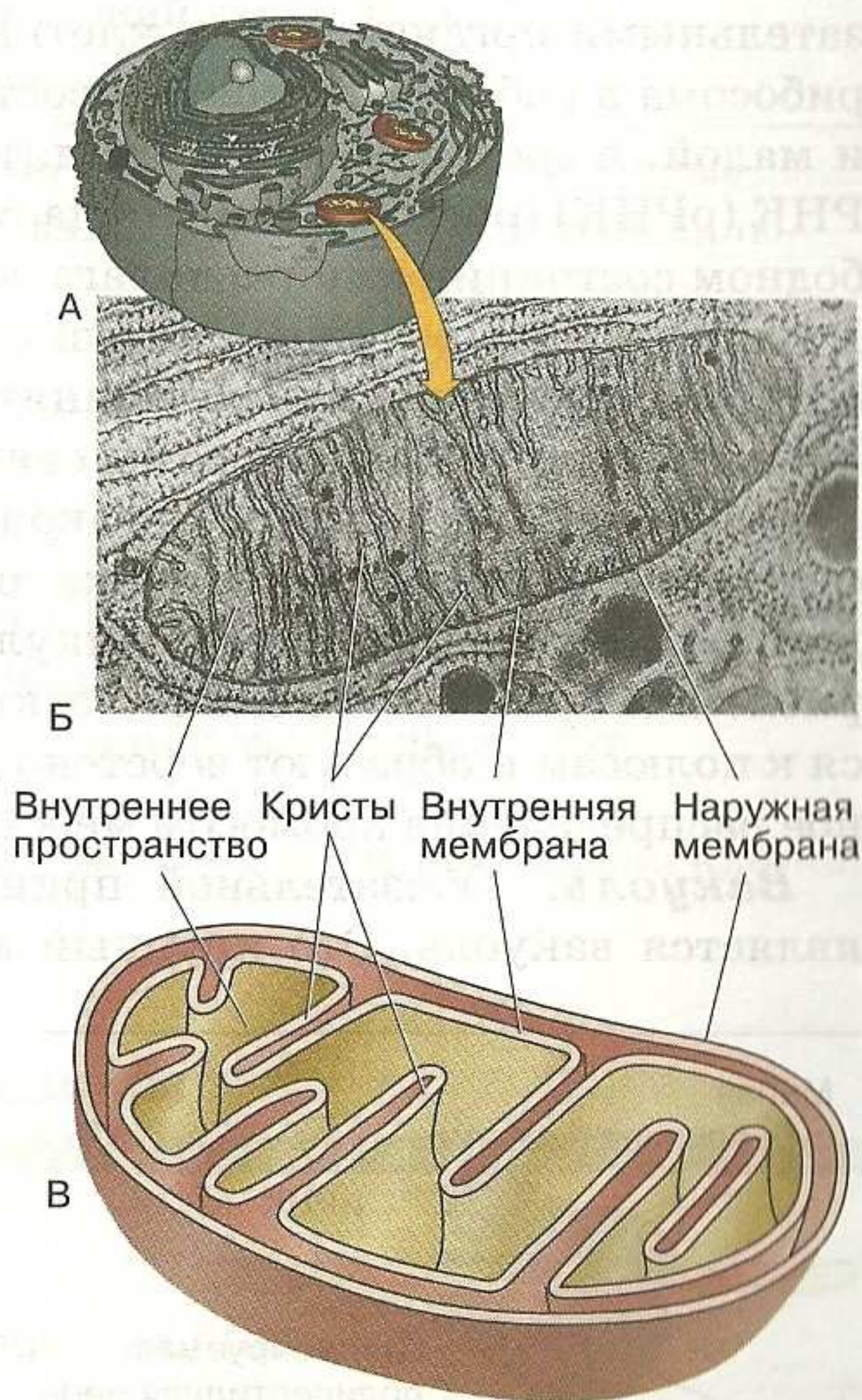


Рис. 29. Митохондрия: А — расположение в клетке; Б — электронная фотография; В — схема строения

Пластиды. Двухмембранные органоиды растительных клеток, которые размножаются путем деления. Существует три типа пластид — лейкопласты, хромопласты и хлоропласты. Основная функция бесцветных лейкопластов — запасание крахмала. Важнейшую роль в жизнедеятельности растительной клетки играют хлоропласты — зеленые пластиды, содержащие хлорофилл и осуществляющие фотосинтез. Осенью хлоропласты превращаются в хромопласты — пластиды с желтой, оранжевой и красной окраской. Как и митохондрии, пластиды имеют собственный генетический аппарат (ДНК), рибосомы и синтезируют белки.

Рибосомы. Субмикроскопические немембранные органоиды, функция которых — синтез белков, благодаря чему они являются обязательными органоидами в клетках всех живых организмов. Каждая рибосома в рабочем состоянии состоит из двух субъединиц — большой и малой, в состав которых входят молекулы белка и рибосомальной РНК (рРНК) (рис. 30). В цитоплазме рибосомы могут находиться в свободном состоянии или располагаться на шероховатых мембранах ЭПС. В зависимости от типа синтезируемого белка рибосомы могут «работать» поодиночке или объединяться в комплексы — полирибосомы. В таких комплексах рибосомы связаны одной молекулой иРНК.

Клеточный центр. Органоид немембранного строения, присутствующий в клетках животных, грибов и низших растений. Состоит из двух расположенных перпендикулярно друг другу цилиндров — центриолей. В процессе деления клетки центриоли удваиваются, расходятся к полюсам и образуют веретено деления, обеспечивающее равномерное распределение хромосом между дочерними клетками.

Вакуоль. Обязательной принадлежностью растительной клетки является вакуоль. Это крупный мембранный пузырек, заполненный клеточным соком, состав которого отличается от окружающей цитоплазмы. Вакуоль накапливает запасные питательные вещества и регулирует водно-солевой обмен, контролируя поступление воды в клетку и из клетки.

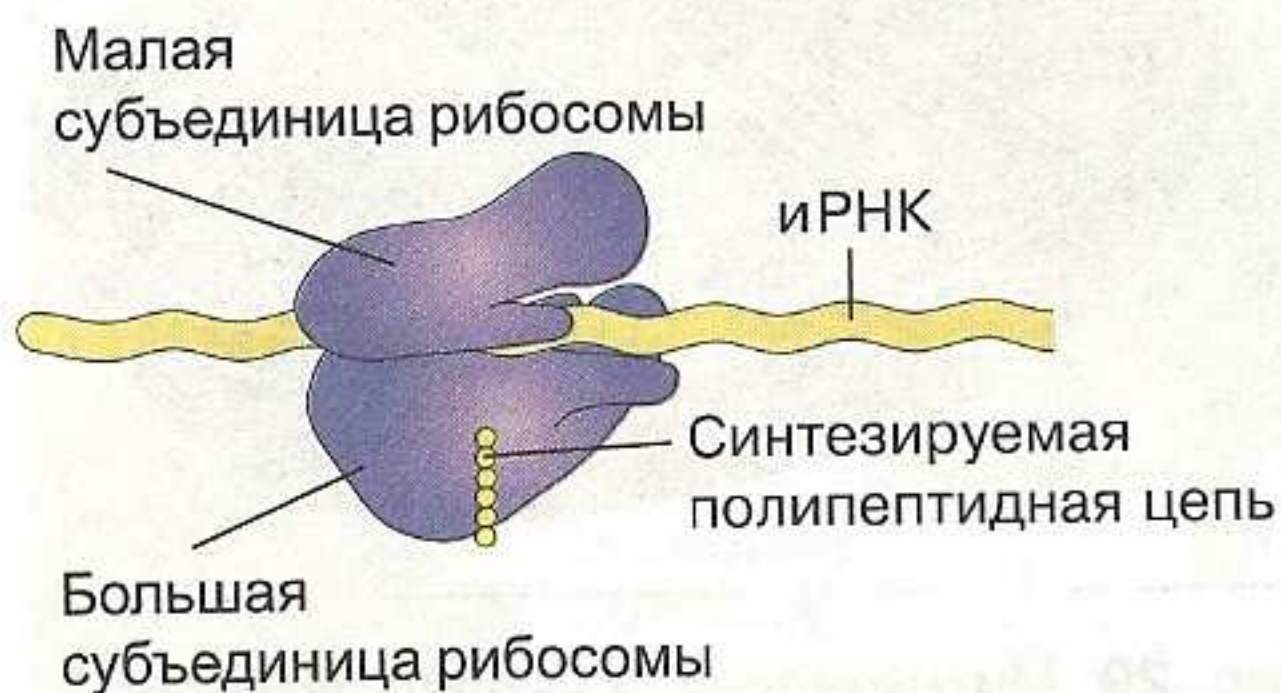


Рис. 30. Строение рибосомы

Принципиальные различия в строении животной и растительной клеток приведены на рис. 24 и в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика растительной и животной клеток

Признак	Растительная клетка	Животная клетка
Клеточная стенка	Есть. Клетка имеет постоянную форму	Нет. Клетка может менять форму
Пластиды	Хлоропласты, хромопласты, лейкопласты	Нет
Основной запасной углевод	Крахмал	Гликоген
Центриоли клеточного центра	У высших растений нет, есть у водорослей	Есть
Вакуоли	В зрелых клетках крупная, как правило, одиночная	Многочисленные мелкие, выполняющие в основном функцию внутриклеточного пищеварения

Вопросы для повторения и задания

1. Каковы отличия в строении эукариотической и прокариотической клеток?
2. Расскажите о пино- и фагоцитозе. Чем различаются эти процессы?
3. Раскройте взаимосвязь строения и функций мембраны клетки.
4. Какие органоиды клетки находятся в цитоплазме?
5. Охарактеризуйте органоиды цитоплазмы и их значение в жизни клетки.

2.8. Клеточное ядро. Хромосомы

Вспомните!

Какие клетки не имеют ядер?

В каких частях и органоидах клетки содержится ДНК?

Каковы функции ДНК?

Обязательным компонентом всех эукариотических клеток является ядро (лат. *nucleus*, греч. *karyon*). Клеточное ядро хранит наследственную информацию и управляет процессами внутриклеточного метабо-

лизма, обеспечивая нормальную жизнедеятельность клетки и выполнение ею своих функций. Как правило, ядро имеет сферическую форму, но существуют также веретеновидные, подковообразные, сегментированные ядра. У большинства клеток ядро одно, но, например, у инфузории туфельки два ядра — макронуклеус и микронуклеус, а в поперечнополосатых мышечных волокнах находятся сотни ядер. Ядро и цитоплазма — это взаимосвязанные компоненты клетки, которые не могут существовать друг без друга. Их постоянное взаимодействие обеспечивает единство клетки и в структурном, и в функциональном смысле. В эукариотических организмах существуют клетки, не имеющие ядер, но срок их жизни недолог. ■

■ В процессе созревания теряют ядро эритроциты, которые функционируют не более 120 дней, а затем разрушаются в селезенке. Безъядерные тромбоциты (кровяные пластинки) циркулируют в крови около 7 дней.

Каждое клеточное ядро окружено ядерной оболочкой, содержит ядерный сок, хроматин и одно или несколько ядрышек.

Ядерная оболочка. Эта оболочка отделяет содержимое ядра от цитоплазмы клетки и состоит из двух мембран, имеющих типичное для всех мембран строение. Наружная мембрана переходит непосредственно в эндоплазматическую сеть, образуя единую мембранную структуру клетки. Поверхность ядра пронизана порами, через которые осуществляется обмен различными материалами между ядром и цитоплазмой. Например, из ядра в цитоплазму выходят РНК и субъединицы рибосом, а в ядро поступают нуклеотиды, необходимые для сборки РНК, ферменты и другие вещества, обеспечивающие деятельность ядерных структур.

Ядерный сок. Раствор белков, нуклеиновых кислот, углеводов, в котором происходят все внутриядерные процессы.

Ядрышко. Место синтеза рибосомальной РНК (рРНК) и сборки отдельных субъединиц рибосом — важнейших органоидов клетки, обеспечивающих биосинтез белка.

Хроматин. В ядре клетки находятся молекулы ДНК, которые содержат информацию о всех признаках организма. ДНК — это двухцепочечная спираль, состоящая из сотен тысяч мономеров — нуклеотидов. Молекулы ДНК огромны, например длина отдельных молекул ДНК, выделенных из клеток человека, достигает нескольких сантиметров, а общая длина ДНК в ядре соматической клетки составляет около 1 м. Яс-

но, что такие гигантские структуры должны быть как-то упакованы, чтобы не перепутаться в общем ядерном пространстве. Молекулы ДНК в ядрах эукариотических клеток всегда находятся в комплексе со специальными белками — гистонами, образуя так называемый *хроматин*. Именно гистоны обеспечивают структурированность и упаковку ДНК. В активно функционирующей клетке, в период между клеточными делениями, молекулы ДНК находятся в расплетенном деспирализованном состоянии, и увидеть их в световой микроскоп практически невозможно. В ядре клетки, готовящейся к делению, молекулы ДНК удваиваются, сильно спирализуются, укорачиваются и приобретают компактную форму, что делает их заметными (рис. 31). В таком компактном состоянии комплекс ДНК и белков называют *хромосомами*, т. е., по сути, в химическом отношении хроматин и хромосомы это одно и то же. В современной цитологии под хроматином понимают дис-

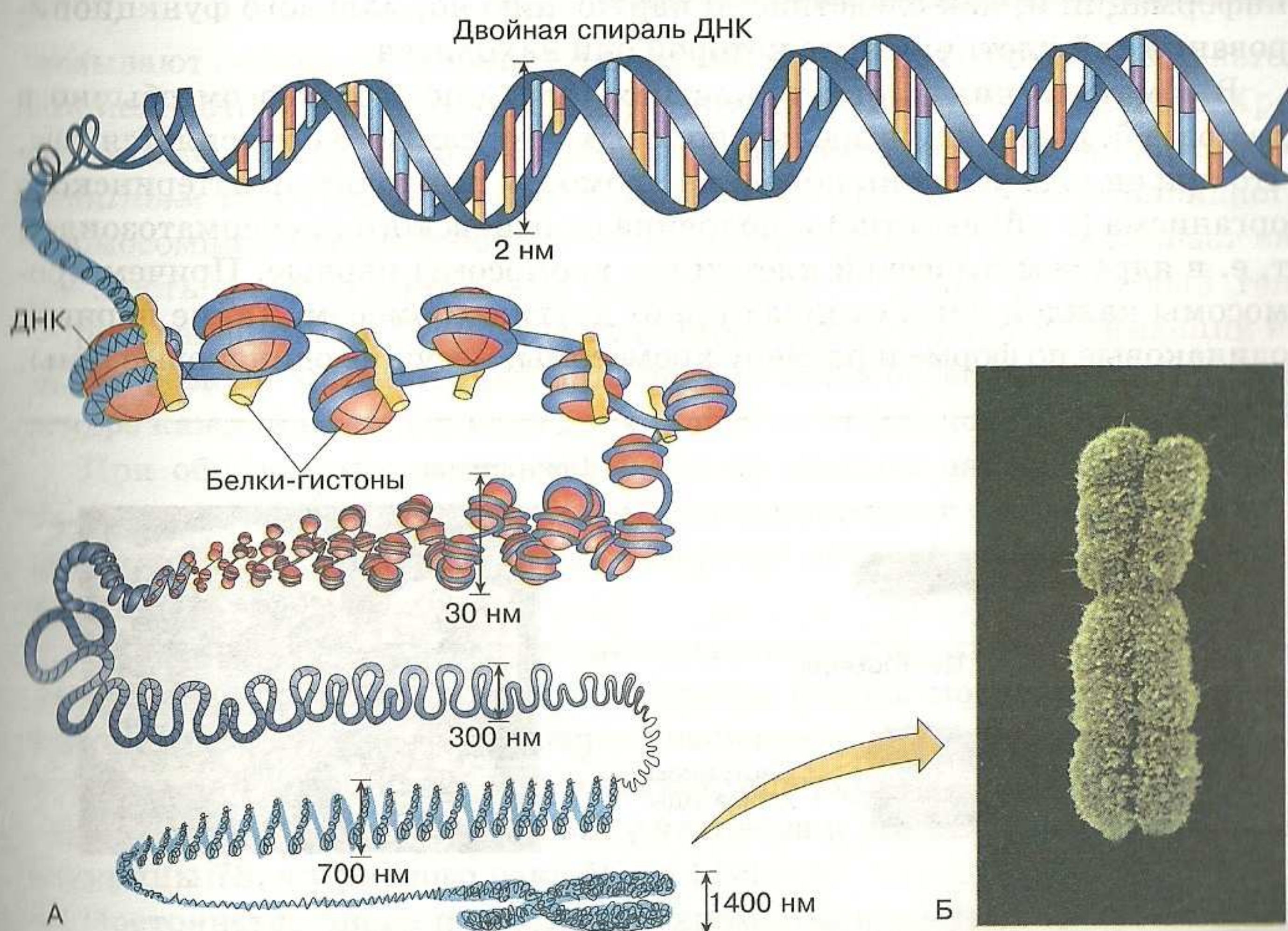


Рис. 31. Спирализация молекулы ДНК (А) и электронная фотография метафазной хромосомы (Б)

персное (рассеянное) состояние хромосом во время выполнения клеткой своих функций и в период подготовки к митозу.

Форма хромосомы зависит от положения так называемой первичной перетяжки, или *центромеры*, — области, к которой во время деления клетки прикрепляются нити веретена деления. Центромера делит хромосому на два плеча одинаковой или разной длины (рис. 32).

Количество, размеры и форма хромосом уникальны для каждого вида. Совокупность всех признаков хромосомного набора, характерного для того или иного вида, называют *кариотипом*. На рис. 33 представлен кариотип человека. Нашим генетическим банком данных являются 46 хромосом определенного размера и формы, несущие более 30 тыс. генов. Эти гены определяют строение десятков тысяч типов белков, различных видов РНК и белков-ферментов, образующих жиры, углеводы и другие молекулы. Любые изменения структуры или количества хромосом приводят к изменению или потере части информации и, как следствие, к нарушению нормального функционирования той клетки, в ядре которой они находятся.

В соматических клетках (клетках тела) число хромосом обычно в два раза больше, чем в зрелых половых клетках. Это объясняется тем, что при оплодотворении половина хромосом приходит от материнского организма (в яйцеклетке) и половина от отцовского (в сперматозоиде), т. е. в ядре соматической клетки все хромосомы парные. Причем хромосомы каждой пары отличаются от других хромосом. Такие парные, одинаковые по форме и размеру хромосомы, несущие одинаковые гены,



Рис. 32. Строение хромосомы: А — одиночная хромосома; Б — удвоенная хромосома, состоящая из двух сестринских хроматид; В — электронная фотография удвоенной хромосомы

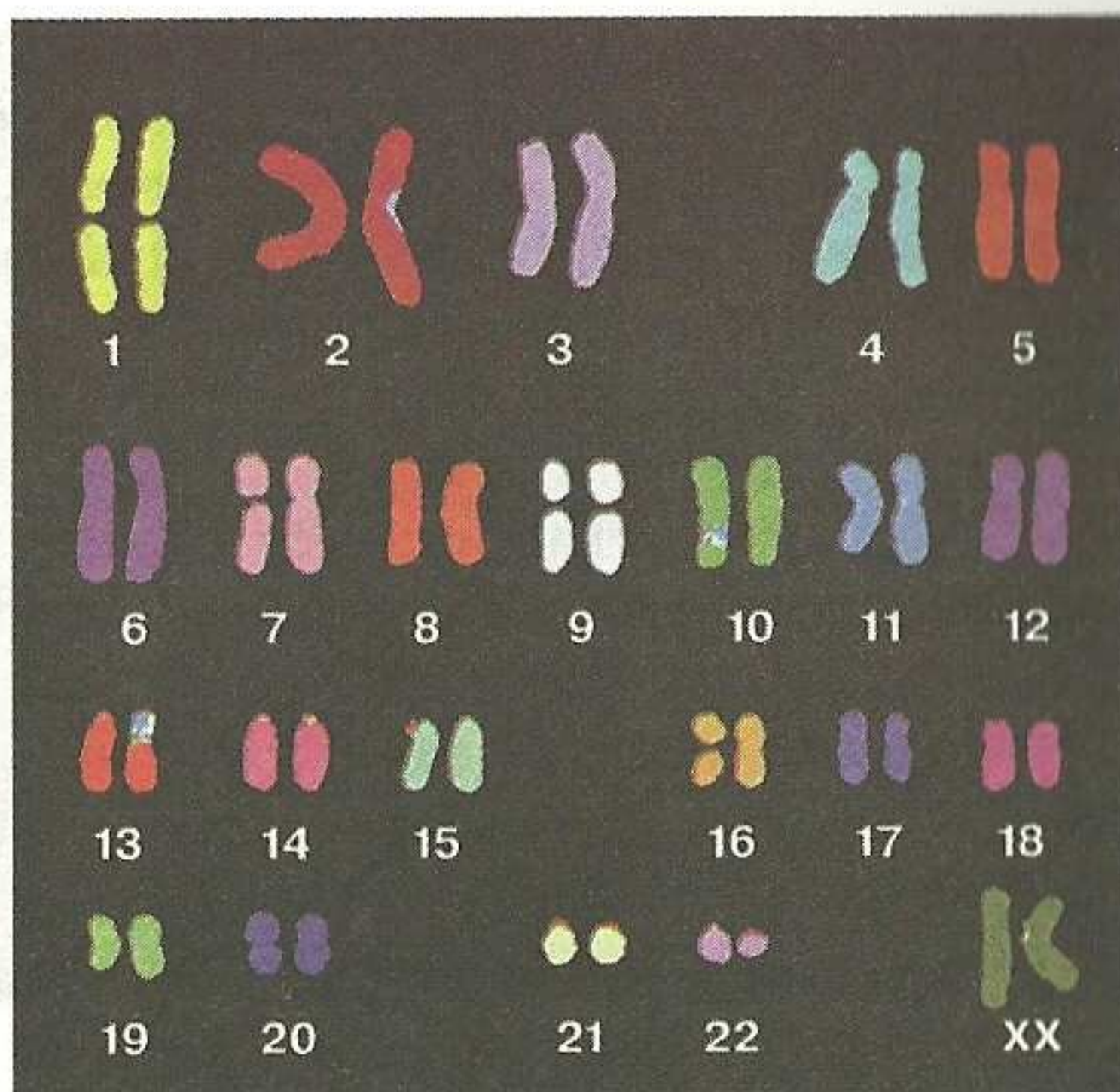


Рис. 33. Кариотип человека. Набор хромосом женщины (флуоресцентная окраска)

называют *гомологичными*. Одна из гомологичных хромосом является копией материнской хромосомы, а другая — копией отцовской. Хромосомный набор, представленный парными хромосомами, называют *двойным* или *диплоидным*, и обозначают $2n$. Наличие диплоидного хромосомного набора у большинства высших организмов повышает надежность функционирования генетического аппарата. Каждый ген, определяющий структуру того или иного белка, а в итоге влияющий на формирование того или иного признака, у таких организмов представлен в ядре каждой клетки в виде двух копий — отцовской и материнской.

При образовании половых клеток от каждой пары гомологичных хромосом в яйцеклетку или сперматозоид попадает только одна хромосома, поэтому половые клетки содержат *одинарный*, или *гаплоидный*, набор хромосом ($1n$).

Не существует зависимости между количеством хромосом и уровнем организации данного вида: примитивные формы могут иметь большее число хромосом, чем высокоорганизованные, и наоборот. Например, у таких далеких видов, как прыткая ящерица и лисица, количество хромосом одинаково и равно 38, у человека и ясеня — по 46 хромосом, у курицы 78, а у речного рака более 110!

Постоянство числа и структуры хромосом в клетках является необходимым условием существования вида и отдельного организма. При изучении хромосомных наборов разных особей были обнаружены ви-

ды-двойники, которые морфологически абсолютно не отличались друг от друга, но, имея разное число хромосом или отличия в их строении, не скрещивались и развивались независимо. Таковы, например, обитающие на одной территории два вида австралийских кузнечиков *Moraba scurra* и *Moraba viatica*, чьи хромосомы отличаются по своей структуре. Виды-двойники известны и в царстве растений. Внешне практически не различимы кларкия двулопастная и кларкия языковидная из семейства кипрейных, растущие в Калифорнии, однако в кариотипе второго вида на одну пару хромосом больше.

Вопросы для повторения и задания

1. Опишите строение ядра эукариотической клетки.
2. Как вы считаете, может ли клетка существовать без ядра? Ответ обоснуйте.
3. Что такое ядрышко? Каковы его функции?
4. Дайте характеристику хроматина.
5. Как соотносится число хромосом в соматических и половых клетках?
6. Что такое кариотип? Дайте определение.
7. Какие хромосомы называют гомологичными?
8. Какой хромосомный набор называют гаплоидным? Диплоидным?

2.9. Прокариотическая клетка

Вспомните!

В чем заключаются принципиальные отличия в строении прокариотических и эукариотических клеток?

Какова роль бактерий в природе?

Разнообразие прокариот. Царство прокариот в основном представлено бактериями, наиболее древними организмами нашей планеты. Возникнув более 3,5 млрд лет тому назад, прокариоты фактически создали биосферу Земли, сформировав условия для дальнейшей эволюции организмов.

Впервые бактерии увидел под микроскопом и описал в 1683 г. голландский натуралист А. Левенгук. Размеры бактерий колеблются в пределах от 1 до 15 мкм. Отдельную бактериальную клетку можно увидеть только с помощью достаточно сложного микроскопа, поэтому их и называют микроорганизмами.

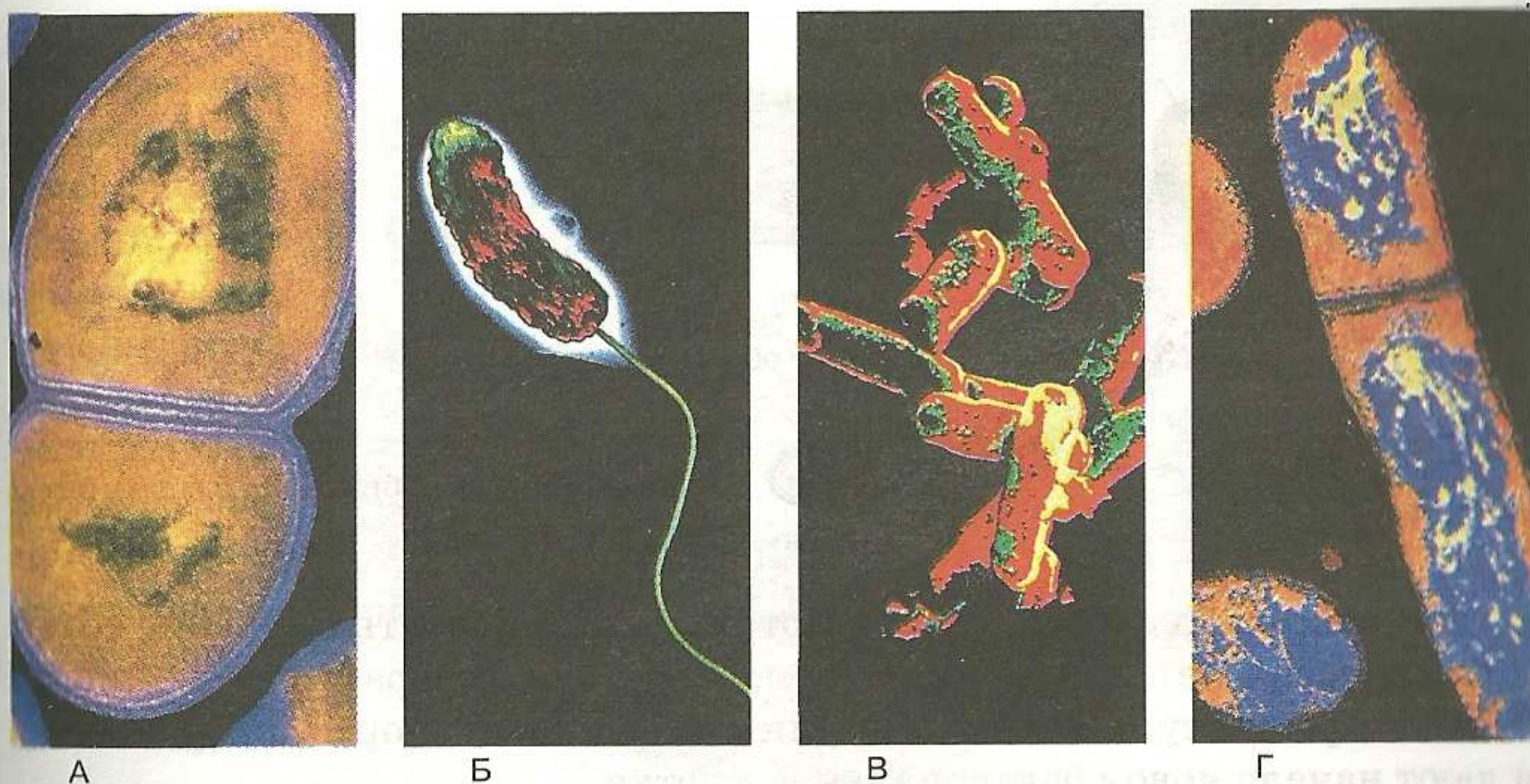


Рис. 34. Некоторые представители современных бактерий: А — стрептококк (в процессе деления); Б — холерный вибрион; В — палочковидная бактерия клостридиум; Г — палочковидная микобактерия, вызывающая туберкулез

Бактерии обитают повсюду: в почве, в воде, в воздухе, на поверхности и внутри других организмов, в пищевых продуктах. Некоторые бактерии поселяются в горячих источниках, где температура воды достигает 78°C и выше. Число бактерий на планете огромно, например в 1 г плодородной почвы содержится около 2,5 млрд бактериальных клеток.

Форма клеток бактерий чрезвычайно разнообразна (рис. 34). Выделяют палочковидные — *бациллы*, сферические — *кокки*, спиралевидные — *спириллы*, имеющие форму запятой — *вибрионы*.

Бактерии играют огромную роль в существовании современной биосферы. Многие из них вызывают процессы гниения и брожения. Существуют прокариоты, живущие в симбиозе с другими организмами, например клубеньковые бактерии на корнях бобовых растений. К группе бактерий-паразитов относятся микроорганизмы, способные вызывать заболевания растений и животных. Пневмония, ангина, тиф, холера, чума, туберкулез, сибирская язва и многие другие тяжелые заболевания человека вызываются патогенными бактериями.

Многие прокариоты способны к спорообразованию (рис. 35). Споры возникают, как правило, в неблагоприятных условиях и представляют собой клетки с резко сниженным уровнем метаболизма. Споры покры-

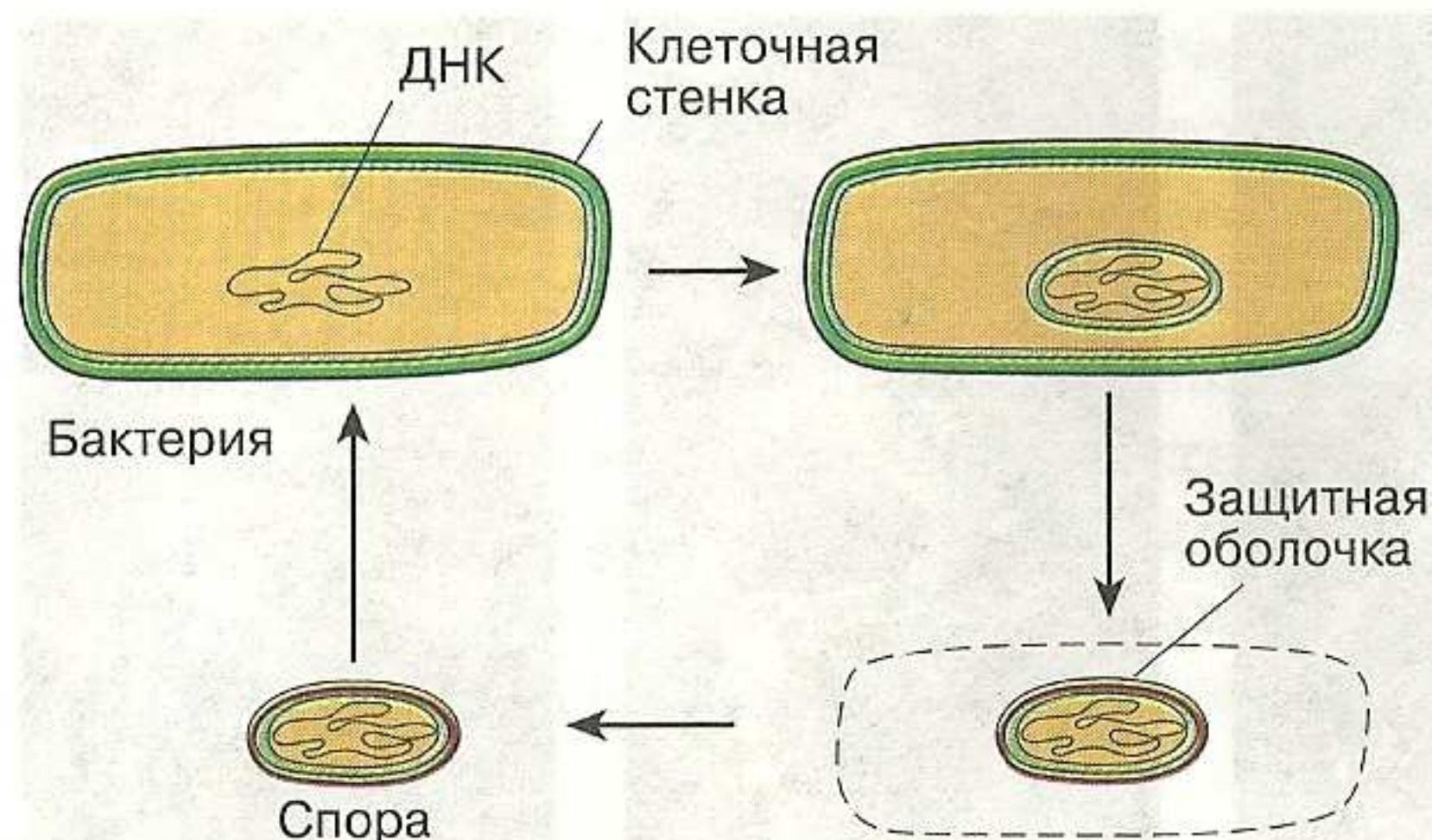


Рис. 35. Образование спор у бактерий

ты защитной оболочкой, сохраняют жизнеспособность в течение сотен и даже тысяч лет и выдерживают колебания температуры от -243 до 140°C . При наступлении благоприятных условий споры «прорастают» и дают начало новой бактериальной клетке.

Таким образом, спорообразование у прокариот является этапом жизненного цикла, обеспечивающим переживание неблагоприятных условий окружающей среды. Кроме этого в состоянии спор микроорганизмы могут легко распространяться при помощи ветра и другими способами. ■

Строение прокариотической клетки. Рассмотрим принципиальное строение бактериальной клетки (рис. 36).

■ Споры болезнетворных бактерий, в покоем состоянии пролежавшие многие годы в земле, попадая при различных земляных работах в водоемы, могут служить причиной возникновения вспышек инфекционных заболеваний. Так, например, споры палочки сибирской язвы сохраняют жизнеспособность в течение более 30 лет.

Ученые-микробиологи вырастили колонии микроорганизмов из спор, оказавшихся в образце льда, возраст которого превышал 10 тыс. лет.

Клетка окружена *мембраной* обычного строения, снаружи от которой находится *клеточная стенка*. В центральной части цитоплазмы располагается одна *кольцевая молекула ДНК*, не отграниченная мембраной от остальной части цитоплазмы. Зона клетки, содержащая генетический материал, носит название *нуклеоид* (от лат. *nucleus* — ядро и греч. *eidos* — вид). Кроме основной кольцевой «хромосомы» бактерии обычно содержат несколько мелких молекул ДНК в форме небольших, свободно расположен-

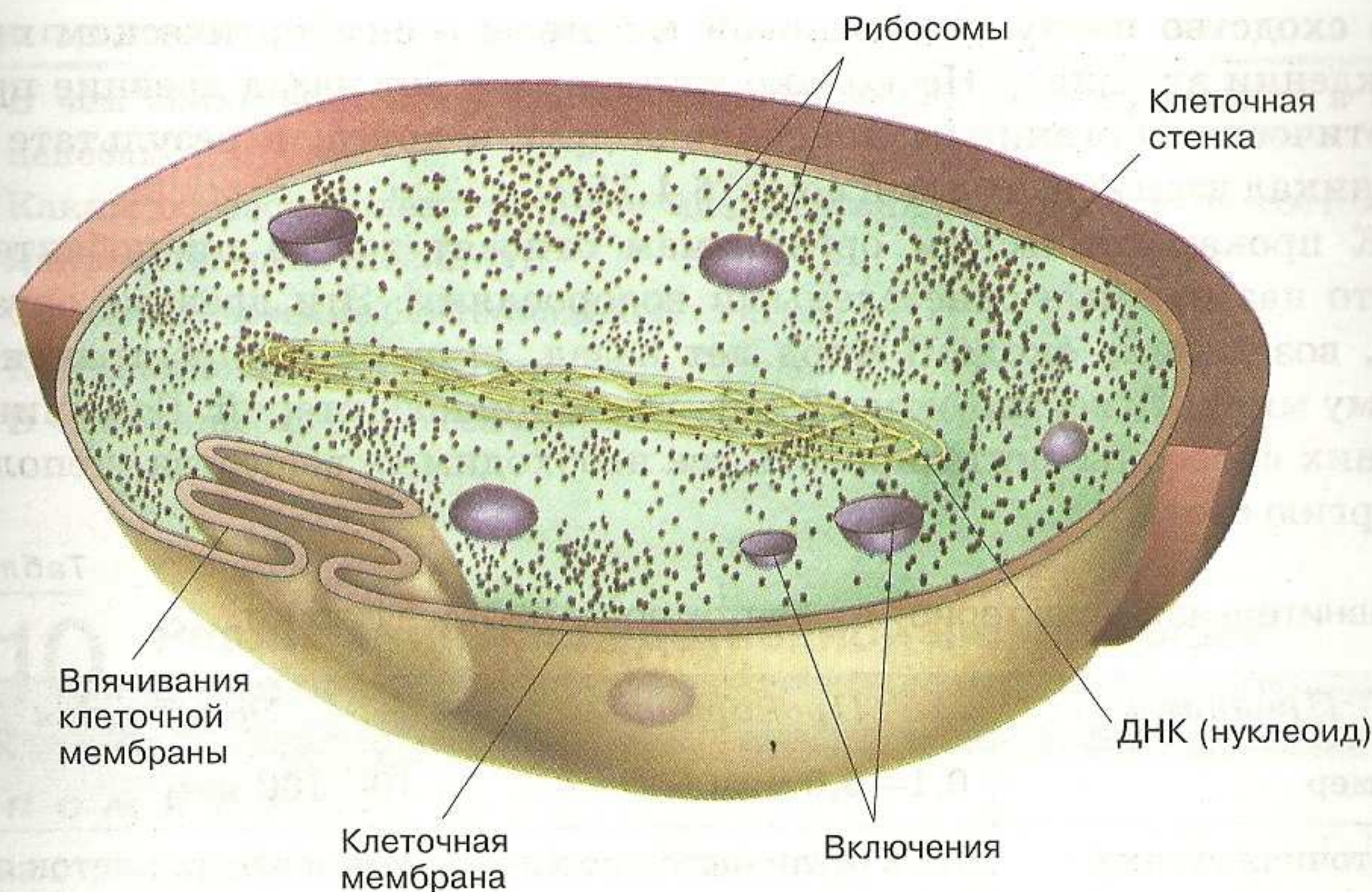


Рис. 36. Строение прокариотической клетки

ных колец, так называемых *плазмид*, участвующих в обмене генетическим материалом между бактериями.

В бактериальных клетках нет мембранных органоидов, характерных для эукариот (эндоплазматической сети, аппарата Гольджи, митохондрий, пластид, лизосом). Функции этих органоидов выполняют впячивания клеточной мембраны.

Обязательными органоидами, которые обеспечивают синтез белка в бактериальных клетках, являются *рибосомы*.

Поверх клеточной стенки многие бактерии выделяют слизь, образуя своеобразную *капсулу*, дополнительно защищающую бактерию от внешних воздействий.

Бактерии размножаются простым делением надвое. После редупликации кольцевой ДНК клетка удлиняется и в ней образуется поперечная перегородка. В дальнейшем дочерние клетки расходятся или остаются связанными в группы.

Сравнивая прокариотическую и эукариотическую клетки, можно отметить, что строение двухмембранных органоидов — митохондрий и пластид, имеющих собственную кольцевую ДНК и рибосомы, синтезирующие РНК и белки, — напоминает строение бактериальной клетки.

Это сходство послужило основой гипотезы о симбиотическом происхождении эукариот. Несколько миллиардов лет назад древние прокариотические организмы внедрялись друг в друга, в результате чего возникал взаимовыгодный союз (§ 4.15).

К прокариотическим организмам относят также цианобактерии, часто называемые синезелеными водорослями. Эти древние организмы, возникшие около 3 млрд лет назад, широко распространены по всему миру. Известно около 2 тыс. видов цианобактерий. Большинство из них способны синтезировать все необходимые вещества, используя энергию света.

Таблица 3

Сравнительная характеристика клеток прокариот и эукариот

Признаки	Прокариоты	Эукариоты
Размер	0,1—5,0 мкм	10—100 мкм
Клеточная стенка	Есть (отличается по химическому составу от клеточной стенки растений и грибов)	У животных клеток отсутствует, у клеток растений и грибов — есть
Ядро	Нет	Есть
Генетический материал	Кольцевая ДНК, плазмиды	Множество линейных молекул ДНК, связанных с белками-гистонами; образуют хромосомы
Мембранные органоиды (ЭПС, комплекс Гольджи, лизосомы, митохондрии, пластиды)	Нет	Есть
Рибосомы	Есть; отличаются от рибосом эукариот, более мелкие	Есть; в цитоплазме — крупные, в митохондриях и пластидах — более мелкие, такие же, как у прокариот
Пищеварительные вакуоли	Нет	Есть

Вопросы для повторения и задания

1. В чем заключаются значение и экологическая роль прокариот в биоценозах?
2. Каким образом болезнетворные микроорганизмы влияют на состояние макроорганизма (хозяина)?
3. Опишите строение бактериальной клетки.
4. Как размножаются бактерии?
5. В чем сущность процесса спорообразования у бактерий?

2.10. Реализация наследственной информации в клетке

Вспомните!

Какова структура белков и нуклеиновых кислот?

Какие типы РНК вам известны?

Где образуются субъединицы рибосом?

Какую функцию рибосомы выполняют в клетке?

Обязательным условием существования всех живых организмов является способность синтезировать белковые молекулы. Классическое определение Ф. Энгельса: «Жизнь есть способ существования белковых тел...» не потеряло своего значения в свете современных научных открытий. Белки в организме выполняют тысячи разнообразных функций, делая нас такими, какие мы есть. Мы отличаемся друг от друга ростом и цветом кожи, формой носа и цветом глаз, у каждого из нас свой темперамент и свои привычки; мы все индивидуальны и в то же время очень похожи. Наше сходство и наши различия — это сходство и различия нашего белкового состава. Каждый вид живых организмов обладает своим специфическим набором белков, который и определяет уникальность этого вида. Но при этом белки, выполняющие сходные функции в разных организмах, могут быть очень похожи, а порой практически одинаковы, кому бы они ни принадлежали. Причем меньше всего различий в белках, обеспечивающих жизненно важные физиологические функции. ■

Итак, все свойства любого организма определяются его белковым составом. Причем структура каждого белка, в свою очередь, определяется последовательностью аминокислотных остатков.

■ В митохондриях работает фермент — цитохром С, который играет важнейшую роль в обеспечении клеток энергией. В процессе эволюции появление цитохромов позволило сформировать эффективную систему энергообеспечения клетки и в итоге привело к возникновению эукариотических организмов. Поэтому не случайно строение цитохрома С одинаково во всех эукариотических клетках — у всех животных, растений и грибов.

Следовательно, в итоге наследственная информация, которая передается из поколения в поколение, должна содержать сведения о первичной структуре белков. Информация о строении всех белков организма заключена в молекулах ДНК и называется *генетической информацией*.

Генетический код. Каким же образом последовательность мономеров — нуклеотидов в цепи ДНК может определять последовательность аминокислотных остатков в молекуле белка? Четырьмя типа-

ми нуклеотидов должны быть закодированы 20 типов аминокислот, из которых состоят все белковые молекулы. Если бы одной аминокислоте соответствовал один нуклеотид, то четыре типа нуклеотидов могли бы определять только четыре типа аминокислот. Это явно не подходит. Если предположить, что каждый тип аминокислот определяется двумя нуклеотидами, то, имея исходно четыре типа оснований, можно закодировать 16 разных аминокислот (4×4). Этого тоже еще недостаточно. Наконец, если каждой аминокислоте будут соответствовать три стоящие подряд нуклеотида, т. е. триплет, то таких сочетаний может быть 64 ($4 \times 4 \times 4$), и этого более чем достаточно, чтобы зашифровать 20 типов аминокислот.

Набор сочетаний из трех нуклеотидов, кодирующих 20 типов аминокислот, входящих в состав белков, называют *генетическим кодом* (рис. 37). В настоящее время код ДНК полностью расшифрован, и мы можем говорить об определенных свойствах, характерных для этой уникальной биологической системы, обеспечивающей перевод информации с «языка» ДНК на «язык» белка.

Первое свойство кода — *триплетность*. Три стоящих подряд нуклеотида — «имя» одной аминокислоты. Один триплет не может кодировать две разные аминокислоты — код *однозначен*. Но при этом каждая аминокислота может определяться более чем одним триплетом, т. е. генетический код *избыточен*. Любой нуклеотид может входить в состав только одного триплета, следовательно, код является *неперекрывающимся*. Некоторые триплеты не кодируют аминокислоты,

а являются своеобразными «дорожными знаками», которые определяют начало и конец отдельных генов, поэтому мы можем говорить о *полярности* генетического кода. У животных и растений, у грибов, бактерий и вирусов один и тот же триплет кодирует один и тот же тип аминокислоты, т. е. генетический код одинаков для всех живых существ. *Универсальность* кода ДНК подтверждает единство происхождения всего живого на нашей планете.

Итак, последовательность триплетов в цепи ДНК определяет последовательность аминокислот в белковой молекуле. *Ген* — это участок молекулы ДНК, кодирующий первичную структуру одной полипептидной цепи.

Транскрипция (от лат. transcription — переписывание). Информация о структуре белков хранится в виде ДНК в ядре клетки, а синтез белков происходит на рибосомах в цитоплазме. В качестве посредника, передающего информацию о строении определенной белковой молекулы к месту ее синтеза, выступает информационная РНК.

Нуклеотид					
1-й	2-й				3-й
	У	Ц	А	Г	
У	УУУ } Фенилаланин УУЦ } УУА } Лейцин УУГ }	УЦУ } УЦЦ } Серин УЦА } УЦГ }	УАУ } Тирозин УАЦ } УАА } стоп-кодона УАГ }	УГУ } Цистеин УГЦ } УГА } стоп-кодон УГГ } Триптофан	У Ц А Г
Ц	ЦУУ } ЦУЦ } Лейцин ЦУА } ЦУГ }	ЦЦУ } ЦЦЦ } Пролин ЦЦА } ЦЦГ }	ЦАУ } Гистидин ЦАЦ } ЦАА } Глютамин ЦАГ }	ЦГУ } ЦГЦ } Аргинин ЦГА } ЦГГ }	У Ц А Г
А	АУУ } АУЦ } Изолейцин АУА } АУГ } Метионин старт-кодон	АЦУ } АЦЦ } Треонин АЦА } АЦГ }	ААУ } ААЦ } Аспарагин ААА } ААГ } Лизин	АГУ } АГЦ } Серин АГА } АГГ } Аргинин	У Ц А Г
Г	ГУУ } ГУЦ } Валин ГУА } ГУГ }	ГЦУ } ГЦЦ } Аланин ГЦА } ГЦГ }	ГАУ } Аспарагиновая ГАЦ } кислота ГАА } ГАГ } Глутаминовая кислота	ГГУ } ГГЦ } Глицин ГГА } ГГГ }	У Ц А Г

Рис. 37. Генетический код

Представьте себе библиотеку с уникальным фондом, книги из которой на дом не выдают. Для вашей работы и решения некой важной задачи необходимо получить информацию, записанную в какой-то из этих книг. Вы приходите в библиотеку, и для вас делают ксерокопию нужной главы из определенного тома. Не имея возможности забрать книгу, вы получаете копию ее фрагмента и, уходя из библиотеки, уносите эту копию с собой, чтобы на основе записанных в ней сведений выполнить необходимую работу: сконструировать прибор, синтезировать какое-либо вещество, испечь пирог или сшить платье, т. е. получить результат.

Такой библиотекой является клеточное ядро, в котором хранятся уникальные тома — молекулы ДНК, ксерокопия — это иРНК, а результат — синтезированная белковая молекула.

Информационная РНК является копией одного гена. Двухцепочечная молекула ДНК раскручивается на определенном участке, водо-

родные связи между нуклеотидами, стоящими друг напротив друга, разрываются, и на одной из цепей ДНК по принципу комплементарности синтезируется иРНК. Напротив тимина молекулы ДНК встает аденин молекулы РНК, напротив гуанина — цитозин, цитозина — гуанин, а напротив аденина — урацил (вспомните отличительные особенности строения РНК, § 2.6). В итоге формируется цепочка РНК, которая является комплементарной копией определенного фрагмента ДНК и содержит информацию о строении определенного белка. Процесс синтеза РНК на ДНК называют *транскрипцией* (рис. 38).

Трансляция (от лат. translation — передача). Молекулы иРНК выходят через ядерные поры в цитоплазму, где начинается второй этап реализации наследственной

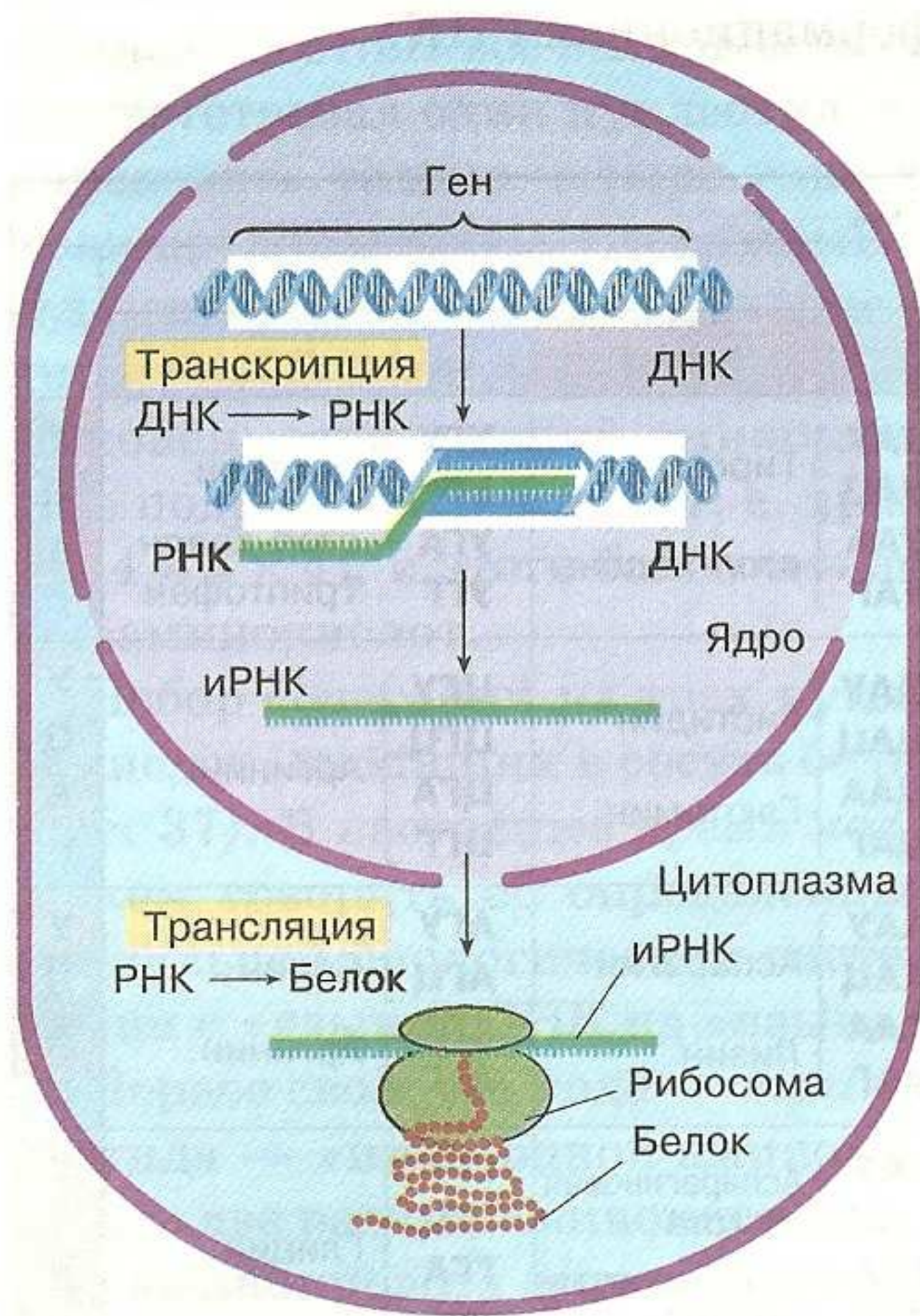


Рис. 38. Взаимосвязь между процессами транскрипции и трансляции

информации — перевод информации с «языка» РНК на «язык» белка. Процесс синтеза белка называют *трансляцией* (см. рис. 38). Для осуществления этого процесса информации о структуре полипептидной цепи, записанной с помощью генетического кода в молекулах иРНК, явно недостаточно. Мы не получим вещественного результата, имея на руках только «листки ксерокопии». Необходимы аминокислоты, из которых, согласно имеющемуся плану, будут собираться молекулы белка. Нужны структуры, в которых непосредственно будет происходить синтез, — рибосомы. Не обойтись также без ферментов, осуществляющих эту сборку, и молекул АТФ, которые обеспечат этот процесс энергией. Только при выполнении всех этих условий белок будет синтезирован.

Молекула иРНК соединяется с рибосомой тем концом, с которого должен начаться синтез белка. Аминокислоты, необходимые для сборки белка, доставляются к рибосоме специальными транспортными РНК (тРНК). Каждая тРНК может переносить только «свою» аминокислоту, имя которой определяется триплетом нуклеотидов — антикодом, расположенным в центральной петле молекулы тРНК (рис. 39). Если антикодон какой-либо тРНК окажется комплементарным триплету иРНК, находящемуся в данный момент в контакте с рибосомой, произойдет узнавание и временное связывание тРНК и иРНК (рис. 40).

Если узнавание произошло, аминокислота отделяется от тРНК и присоединяется к растущей пептидной цепочке. Освобожденная тРНК уходит в цитоплазму, а рибосома делает «шаг», сдвигаясь на один триплет по цепи иРНК. К этому новому триплету подойдет другая тРНК и принесет иную аминокислоту, которая присоединится к растущему белку. Так, шаг за шагом, рибосома пройдет по всей иРНК, обеспечивая считывание закодированной в ней информации. Таким образом, включение аминокислот в растущую белковую цепь происходит строго последовательно в соответствии с последовательностью расположения триплетов в цепи иРНК.

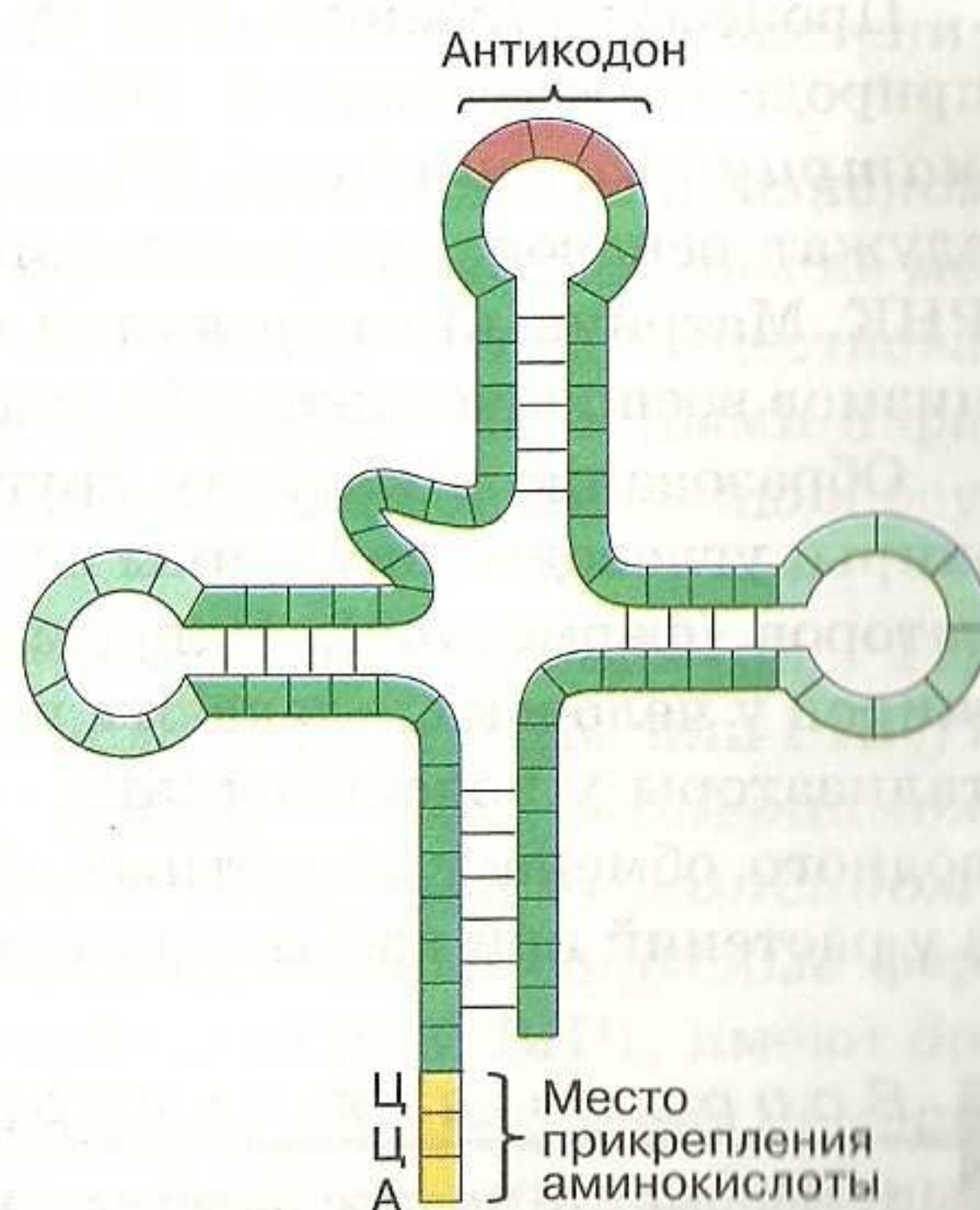


Рис. 39. Строение тРНК

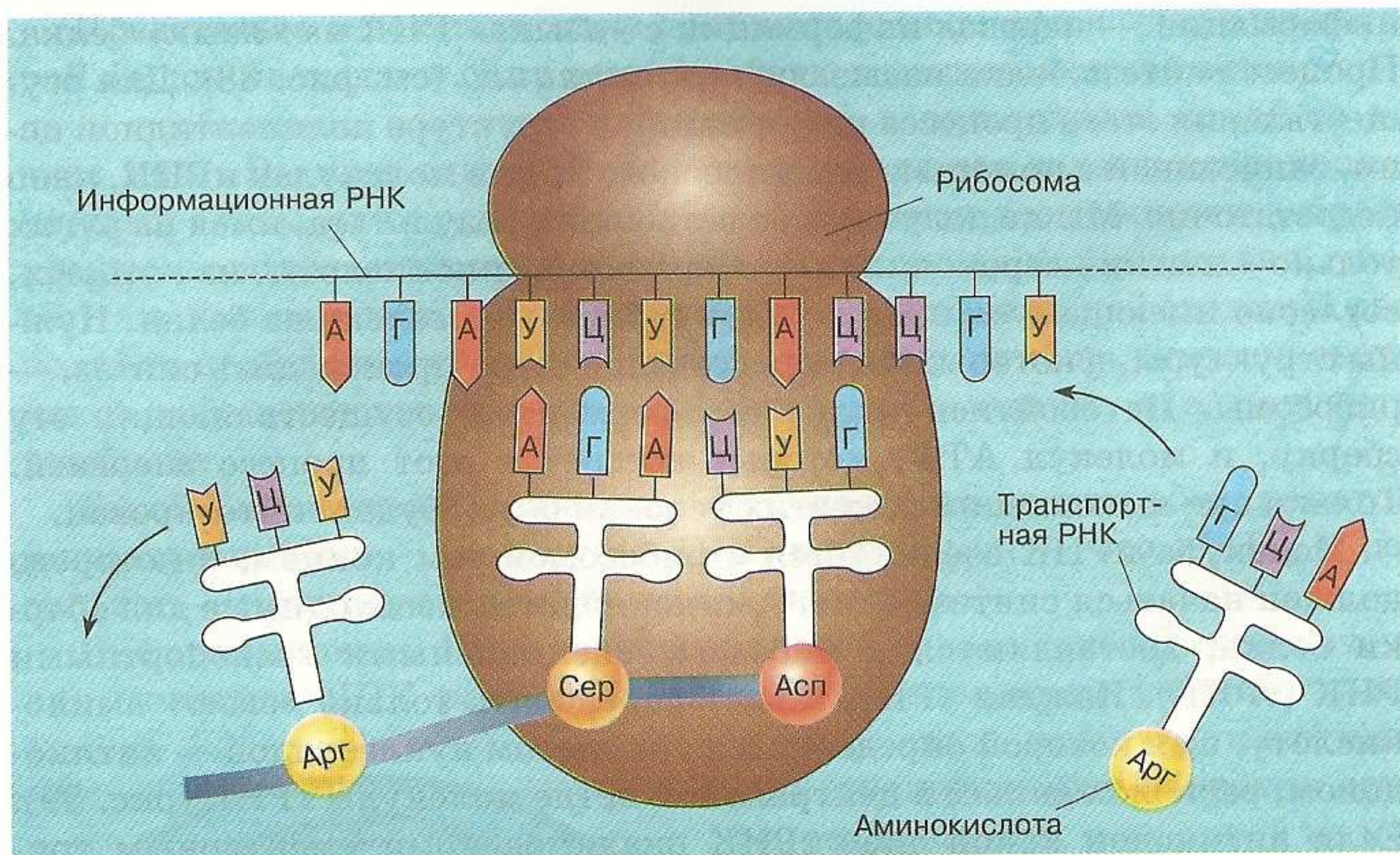


Рис. 40. Трансляция

Процессы удвоения ДНК (§ 2.6), синтеза РНК и белков в неживой природе не встречаются. Они относятся к так называемым реакциям *матричного синтеза*. Матрицами, т. е. теми молекулами, которые служат основой для получения множества копий, являются ДНК и РНК. Матричный тип реакций лежит в основе способности живых организмов воспроизводить себе подобных.

Образование в клетках других органических молекул, таких, как жиры, углеводы, витамины и т. д., связано с действием белков-катализаторов (ферментов). Например, ферменты, обеспечивающие синтез жиров у человека, «делают» человеческие липиды, а аналогичные катализаторы у подсолнечника — подсолнечное масло. Ферменты углеводного обмена у животных образуют резервное вещество гликоген, а у растений при избытке глюкозы синтезируется крахмал.

Вопросы для повторения и задания

1. Вспомните полное определение понятия «жизнь».
2. Назовите основные свойства генетического кода и поясните их значение.

3. Какова сущность процесса передачи наследственной информации из поколения в поколение и из ядра в цитоплазму, к месту синтеза белка?
4. Где синтезируются рибонуклеиновые кислоты?
5. Расскажите, где происходит синтез белка и как он осуществляется.

2.11. Неклеточная форма жизни: вирусы

Вспомните!

Чем вирусы отличаются от всех остальных живых существ?

Почему существование вирусов не противоречит основным положениям клеточной теории?

Какие вы знаете вирусные заболевания?

В 1892 г. русский ботаник Дмитрий Иосифович Ивановский, изучая мозаичную болезнь растений табака, обнаружил, что при пропускании сока, выделенного из больного растения, через фильтры, задерживающие бактерии, жидкость сохраняла способность вызывать заболевания у здоровых растений. Возбудитель болезни был столь мал, что его и подобные ему структуры, получившие в дальнейшем название *вирусы* (от лат. *virus* — яд), стало возможно изучать только после изобретения электронного микроскопа.

Вирусы — это неклеточная форма жизни. Считая признаком живого наличие клеточного строения, большинство ученых, тем не менее, относит вирусы к живым организмам, потому что их существование неразрывно связано с клеткой. Являясь внутриклеточными паразитами, вне клетки вирусы не способны к самовоспроизведению и осуществлению процессов обмена веществ.

Строение вирусов. Вирусы имеют очень простое строение (рис. 41). Каждый вирус состоит из нуклеиновой кислоты (или ДНК, или РНК) и белка. Нуклеиновая кислота является *генетическим материалом* вируса. Она окружена защитной белковой оболочкой — *капсидом*. Внутри капсида могут также находиться собственные вирусные ферменты. Некоторые вирусы, например вирус гриппа и ВИЧ, имеют *дополнительную оболочку*, которая образуется из клеточной мембраны клетки-хозяина. Капсид вируса, состоящий из многих белковых молекул, обладает высокой степенью симметрии, имея, как правило, спиральную или многогранную форму. Эта особенность строения по-



Рис. 41. Вирусы: строение и разнообразие

звояет отдельным белкам вируса объединяться в полную вирусную частицу путем самосборки.

Размножение вирусов. Ни один из известных на сегодняшний день вирусов не способен к самостоятельному существованию. Обычно вирус сначала связывается с поверхностью клетки-хозяина, а затем или проникает внутрь целиком (путем эндоцитоза), или с помощью специальных приспособлений вводит в клетку свою нуклеиновую кислоту

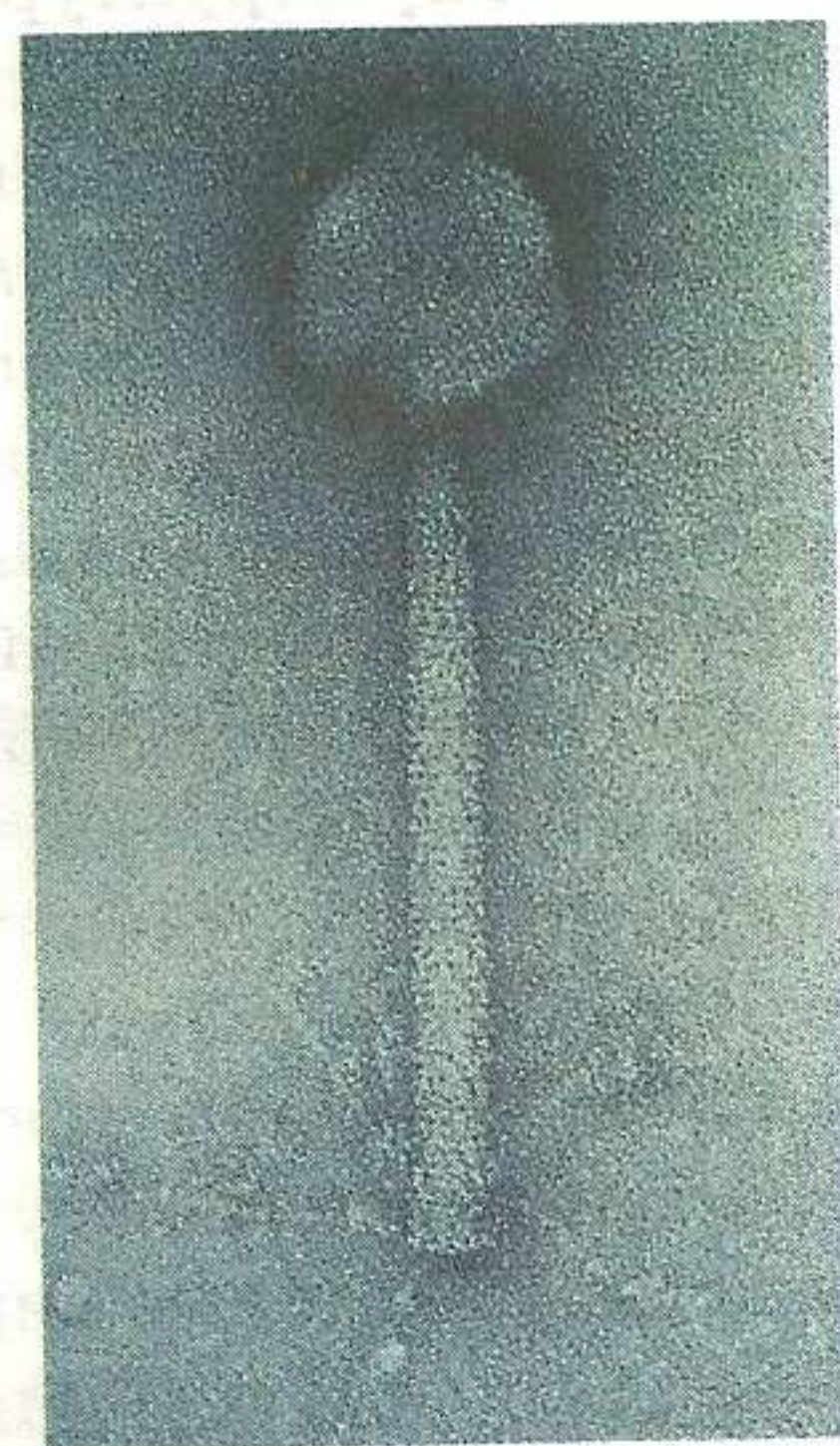
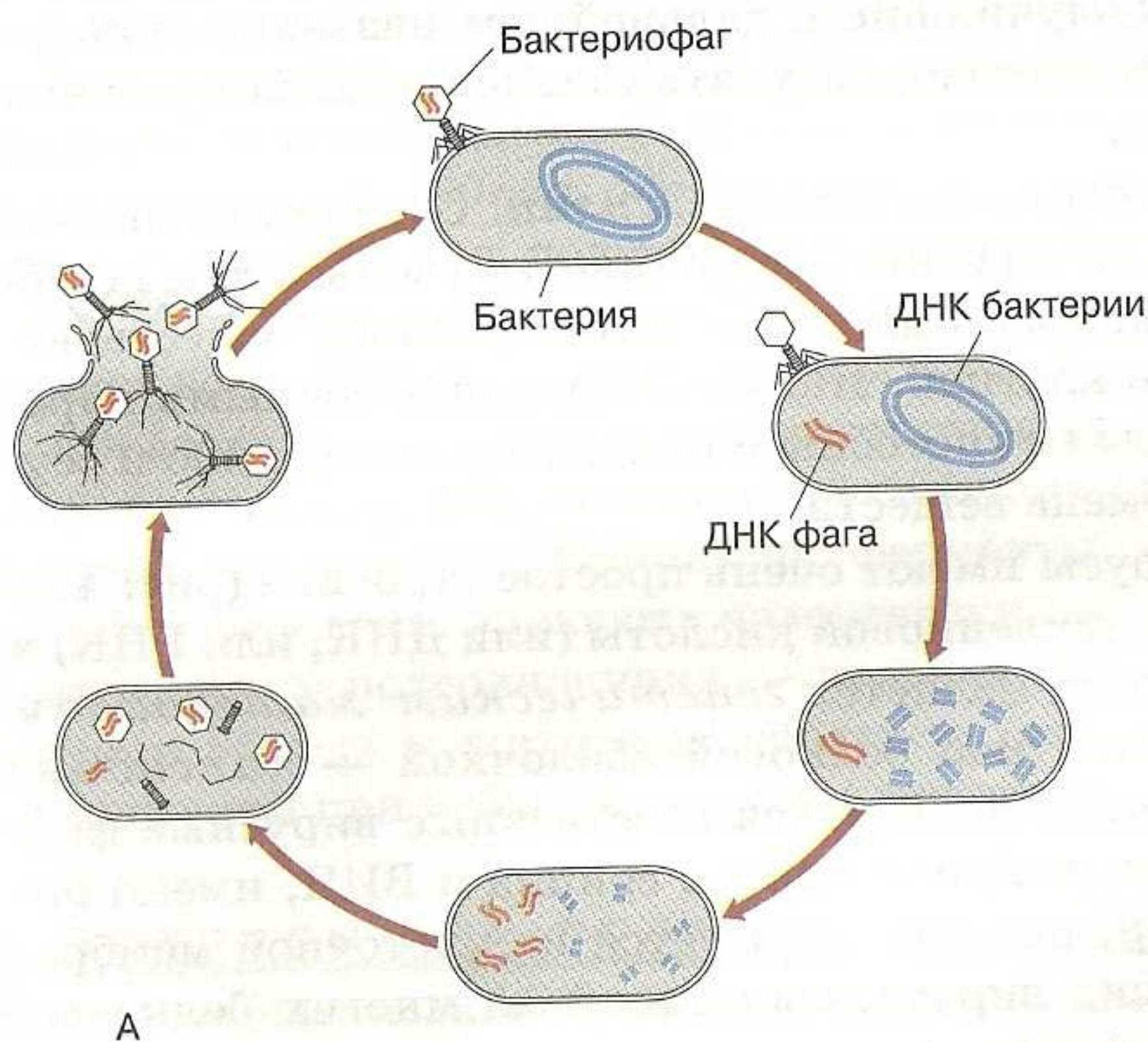


Рис. 42. Жизненный цикл вирусов (А) и электронная фотография бактериофага (Б)

(рис. 42, 43). Попад в клетку, генетический материал вируса взаимодействует с ДНК хозяина таким образом, что клетка сама начинает синтезировать необходимые вирусу белки. Одновременно происходит копирование наследственного материала паразита, и в цитоплазме зараженной клетки начинается самосборка новых вирусных частиц. Готовые вирусные частицы покидают клетку или постепенно, не вызывая ее гибели, но изменяя работоспособность, или одновременно в большом количестве, что приводит к разрушению клетки.

Вирусы как возбудители болезней. Вирусы способны поражать и эукариотические, и прокариотические клетки. Вирусы, инфицирующие бактерий, называют *бактериофагами*. Вирусы вызывают множество различных заболеваний у животных, растений и грибов, причем каждый из них имеет своего собственного специфического хозяина. Вирус табачной мозаики, например, поражает растения табака, вызывая образование на листьях характерных пятен — это места отмирания тканей. Вирус оспы поражает только эпителиальные клетки, а вирус полиомиелита — клетки нервной ткани. Вирусными заболеваниями человека являются также грипп, корь, краснуха, гепатит, ветряная оспа, бешенство, герпес, СПИД и многие другие.

СПИД. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), вызывающий синдром приобретенного иммунодефицита (СПИД), впервые был выделен в США в 1981 г. К 2000 г. число инфицированных этим вирусом уже превысило 30 млн человек. В настоящее время болезнь очень быстро распространяется в Азии, Африке, а также в Центральной и Восточной Европе.

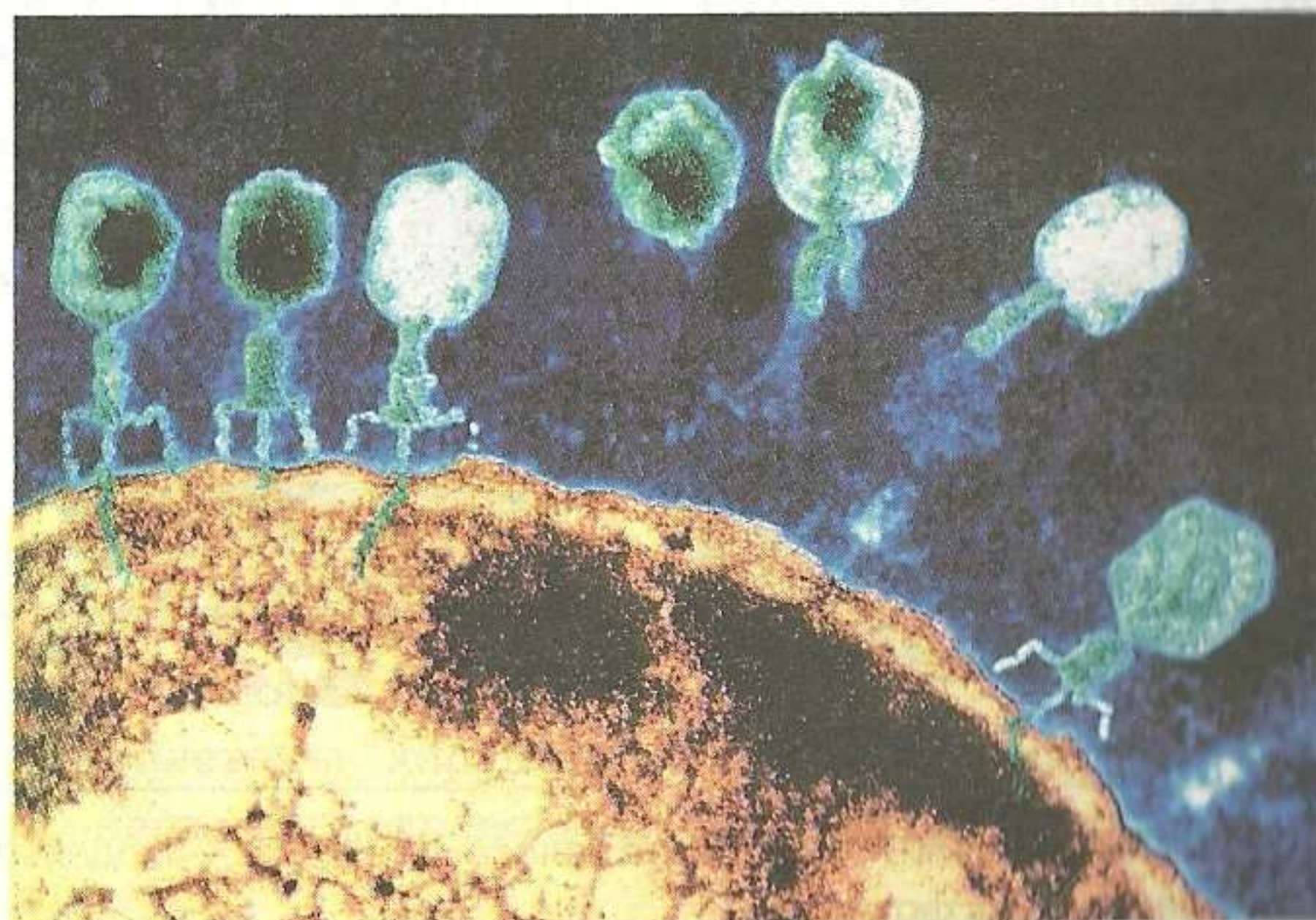


Рис. 43. Бактериофаги на поверхности клетки-хозяина (электронная фотография)

ВИЧ относят к группе *ретровирусов*, генетическим материалом которых является РНК (рис. 44). Обычно перенос генетической информации в клетке идет в направлении от ДНК к РНК (транскрипция). У ретровирусов при попадании в клетку-хозяина происходит противоположный процесс, так называемая обратная транскрипция, при которой на основе вирусной РНК синтезируется ДНК, которая затем встраивается в ДНК хозяина.

Рассмотрим жизненный цикл вируса иммунодефицита (рис. 45). ВИЧ инфицирует и уничтожает лейкоциты, в том числе, так называемые лимфоциты-хелперы (от англ. *help* — помощь), которые обеспечивают формирование иммунитета человека. После проникновения ВИЧ в клетку путем эндоцитоза (рис. 45, 1—3) вирусная РНК выходит в цитоплазму (рис. 45, 4), где на ее основе с помощью специального фермента синтезируется вирусная ДНК (рис. 45, 5). Последняя проникает в клеточное ядро и встраивается в ДНК хозяина (рис. 45, 6). В дальнейшем при делении клетки одновременно с копированием клеточной ДНК происходит и копирование встроенной вирусной ДНК, в результате чего количество зараженных лимфоцитов быстро растет. Этот процесс может продолжаться в течение многих лет. По истечении некоторого времени вирус вновь активизируется (рис. 45, 7) и «заставляет» клетку работать на себя, синтезируя вирусные РНК и белки (рис. 45, 8), из которых собираются новые вирусные частицы, покидающие клетку-хозяина (рис. 45, 9). Причиной, по которым вирус спустя 5—6 лет скрытого существования переходит в активную форму, не-

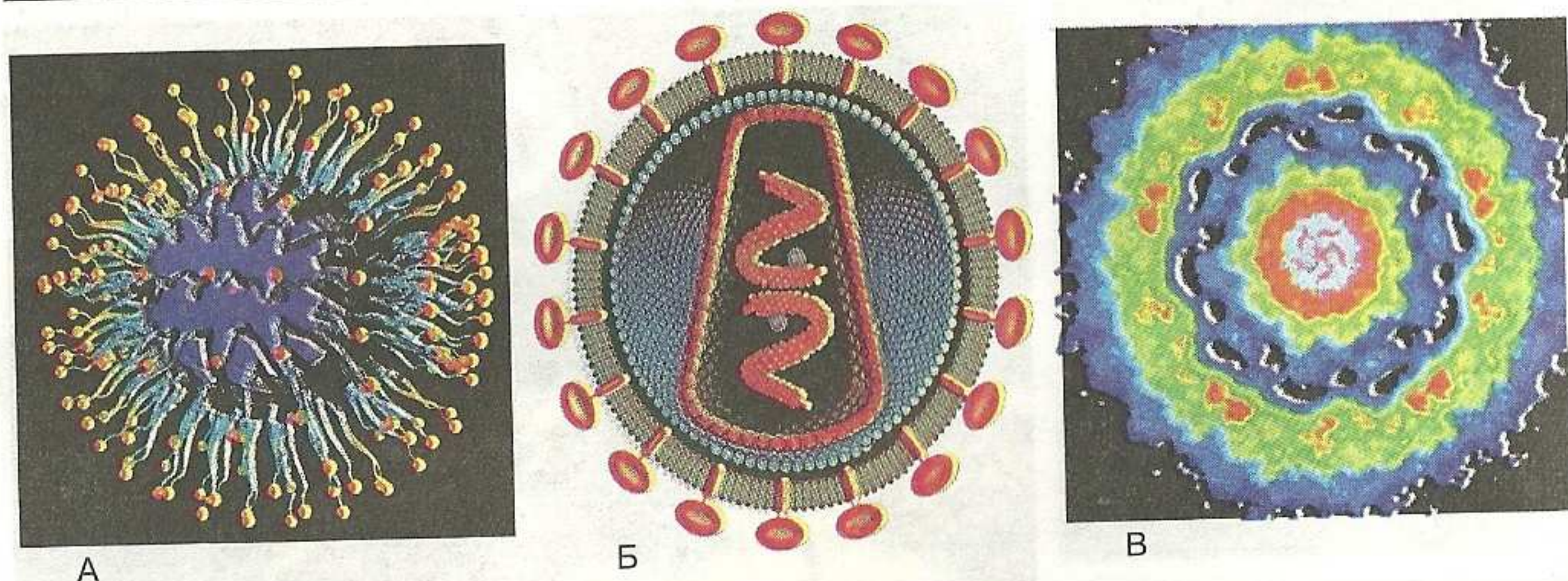


Рис. 44. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ): А — модель вируса; Б — схема строения; В — электронная фотография

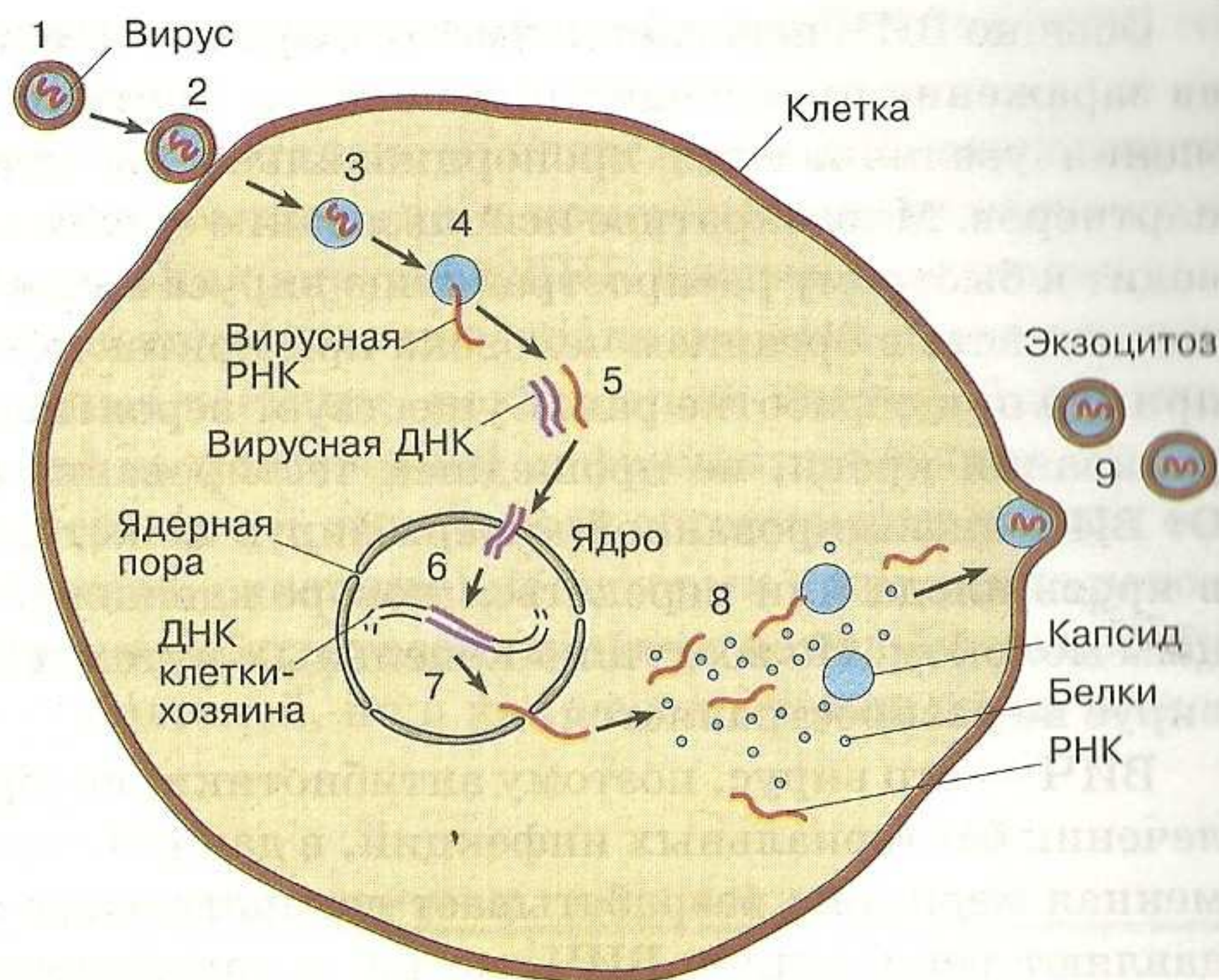


Рис. 45. Жизненный цикл вируса иммунодефицита человека (ВИЧ)

известны. Новые вирусные частицы заражают еще здоровые лимфоциты. В результате иммунная система разрушается, лимфоциты перестают узнавать чужеродные белки и болезнетворные бактерии, попадающие в организм, и человек становится уязвимым для любых инфекционных заболеваний. Ежегодно у 1—2% ВИЧ-инфицированных развивается СПИД. Больные СПИДом подвержены различным бактериальным, вирусным и грибковым инфекциям, которые и становятся причиной их смерти. Более 60% заболевших СПИДом погибает от пневмонии, с которой обычно успешно справляется иммунная система здорового человека. У многих носителей ВИЧ развиваются злокачественные опухоли, а при заражении токсоплазмозом поражаются большие полушария головного мозга, что в дальнейшем может привести к параличу¹ и коме².

¹ *Паралич* (от греч. paralysis — развязывать, расслаблять) — расстройство двигательной функции в виде полного отсутствия произвольных движений в мышце или группе мышц.

² *Кома* (от греч. coma — глубокий сон) — состояние глубокого угнетения функций центральной нервной системы, характеризуется полной потерей сознания, утратой реакции на внешние раздражители и расстройством регуляции жизненно важных функций.

Обычно ВИЧ передается вместе с кровью или спермой. В 90% случаев заражение происходит при половом контакте, при этом риск заражения увеличивается пропорционально увеличению числа половых партнеров. Многократное использование одного и того же шприца приводит к быстрому распространению вируса среди наркоманов. ВИЧ может попасть в организм человека при контакте с кровью больного, например при обработке ран. Существует вероятность заражения при переливании крови, не прошедшей тестирование на присутствие ВИЧ. От ВИЧ-инфицированной матери вирус может через плаценту попасть в кровь плода или передаться новорожденному при кормлении грудным молоком. Но воздушно-капельным путем и при рукопожатии этот вирус не распространяется.

ВИЧ — это вирус, поэтому антибиотики, которые используются при лечении бактериальных инфекций, в данном случае бессильны. Современная медицина разрабатывает лекарственные средства, которые подавляют репликацию ВИЧ, но их использование имеет много побочных эффектов и перспективы их применения пока неясны. Разработка вакцины против ВИЧ тоже имеет определенные сложности; это связано с особенностями строения данного вируса и тяжестью заболевания, которое он вызывает. На сегодняшний день важным направлением в лечении СПИДа является восстановление иммунной системы инфицированных.

Пока не существует эффективных способов лечения этого заболевания, лучшим способом защиты от СПИДа является соблюдение мер предосторожности:

- следует избегать случайных половых связей, а при половых контактах изолировать себя от спермы и крови партнера при помощи презерватива;

- в больницах, стоматологических клиниках, поликлиниках и косметических салонах необходимо использовать одноразовые шприцы, а инструменты многоразового применения тщательно стерилизовать, соблюдая все необходимые условия;

- донорскую кровь следует проверять на наличие антител к ВИЧ.

Вирусы как переносчики генетической информации. Существует гипотеза, что вирусы — это генетический материал, некогда покинувший клетку, но сохранивший способность к самовоспроизведению при возвращении в нее. Следовательно, в процессе эволюции вирусы возникли позже появления клеточной формы, а любое вирусное зараже-

ние надо рассматривать как получение клеткой некой чужеродной генетической информации.

Многие вирусы способны не только привносить в организм хозяина свою наследственную информацию, но и изменять работу клеточных генов. В процессе копирования вирусной ДНК иногда происходит частичное копирование и генетического материала хозяина. В этом случае новые собранные вирусные частицы, покидающие клетку, будут уносить с собой копию некой наследственной информации хозяина. Таким образом вирусы могут переносить гены между организмами разных видов, отрядов и даже классов, скрещивание которых в принципе невозможно. В настоящее время вирусы рассматривают не только как возбудителей инфекционных болезней, но и как переносчиков генов между организмами.

Вопросы для повторения и задания

1. Как устроены вирусы?
2. Каков принцип взаимодействия вируса и клетки?
3. Опишите процесс проникновения вируса в клетку.
4. В чем проявляется действие вирусов на клетку?
5. Используя знания о путях распространения вирусных и бактериальных инфекций, предложите пути предотвращения инфекционных заболеваний.

Вопросы для обсуждения

Глава

«КЛЕТКА»

«История изучения клетки. Клеточная теория»

1. Какое преимущество дает клеточное строение живым организмам?
2. Какое из положений клеточной теории было установлено самым первым? Почему?
3. Почему оформление клеточной теории шло одновременно с развитием и усовершенствованием техники?

«Химический состав клетки»

1. Почему в растительных организмах углеводов значительно больше, чем в животных?

2. К каким заболеваниям может привести нарушение превращения углеводов в организме человека?
3. Известно, что, если в рационе отсутствует белок, даже несмотря на достаточную калорийность пищи, у животных останавливается рост, изменяется состав крови и возникают другие патологические явления. Какова причина подобных нарушений?
4. Какие вы знаете биологически активные вещества в организме человека, относящиеся к группе липидов? Каковы их функции?
5. Объясните трудности, возникающие при пересадке органов, опираясь на знания специфичности белковых молекул в каждом организме.
6. Почему при работе в горячих цехах для утоления жажды рекомендуют пить минеральную или подсоленную воду?

«Строение эукариотической и прокариотической клеток»

1. В клетках каких органов и почему аппарат Гольджи наиболее развит?
2. Какими путями осуществляется обмен веществ между клеткой и окружающей средой?
3. Известно, что ионный состав внутреннего содержимого клетки имеет большое сходство с ионным составом морской воды. Какой вывод можно из этого сделать?
4. Какие особенности строения ядра клетки обеспечивают транспорт веществ из ядра и обратно?
5. Предположите, что произойдет, если исчезнут все бактерии на Земле.
6. Как давно люди используют микроорганизмы?
7. В чем состоит сущность процессов пастеризации и стерилизации как меры борьбы с бактериями?
8. Что такое антибиотики? С какой целью их применяют?

«Реализация наследственной информации в клетке»

1. Почему углеводы не могут выполнять функцию хранения информации?
2. Каким образом реализуется наследственная информация о структуре и функциях небелковых молекул, синтезируемых в клетке?
3. При каком структурном состоянии молекулы ДНК могут быть источниками генетической информации?
4. Какие особенности строения молекул РНК обеспечивают их функцию переноса информации о структуре белка от хромосом к месту его синтеза?
5. Объясните, почему молекула ДНК не могла быть построена из нуклеотидов трех типов.

«Вирусы»

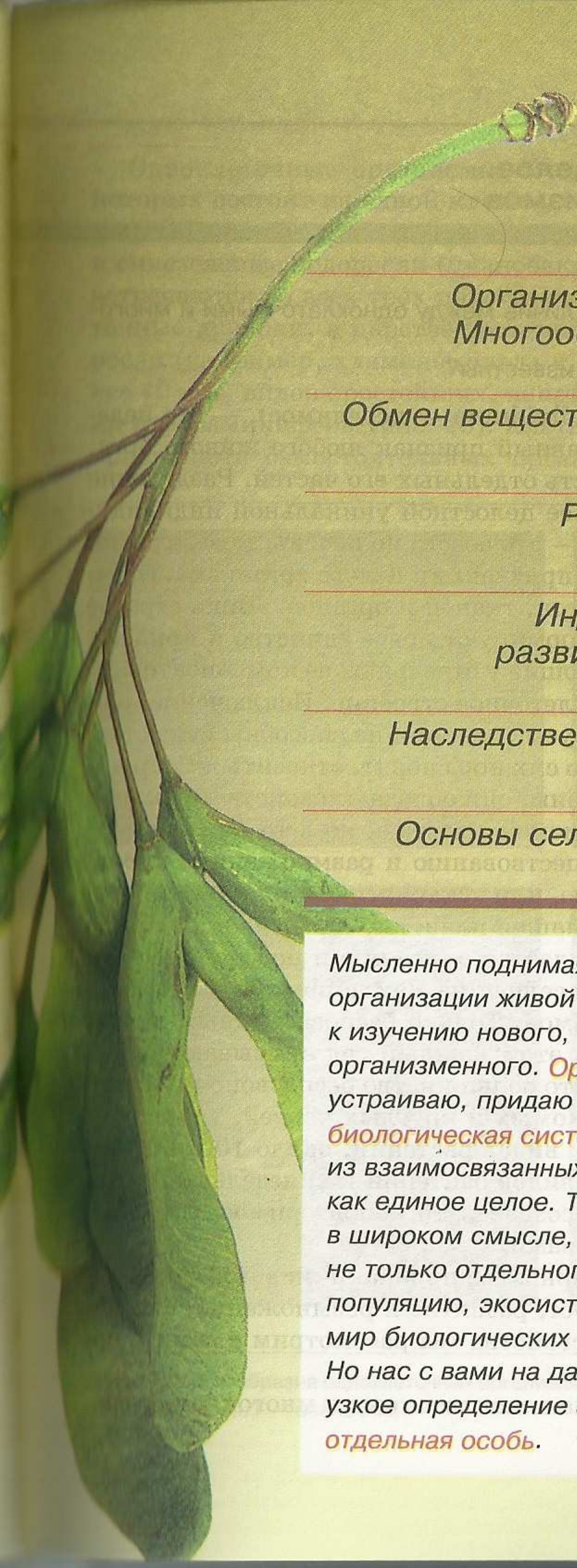
1. Почему вирус может проявить свойства живого организма, только внедрившись в живую клетку?
2. Почему вирусные заболевания имеют характер эпидемий? Охарактеризуйте меры борьбы с вирусными инфекциями.
3. Выскажите свое мнение о времени появления на Земле вирусов в историческом прошлом, учитывая, что вирусы могут размножаться только в живых клетках.
4. Объясните, почему в середине XX в. вирусы стали одним из главных объектов экспериментальных генетических исследований.
5. Подумайте, какие сложности возникают при попытках создать вакцину против ВИЧ-инфекции.

ГЛАВА

3

Организм





ТЕМЫ

■
Организм — единое целое.
Многообразие организмов

■
Обмен веществ и превращение энергии

■
Размножение

■
Индивидуальное
развитие (онтогенез)

■
Наследственность и изменчивость

■
Основы селекции. Биотехнология

Мысленно поднимаясь по лестнице уровней организации живой материи, мы приступаем к изучению нового, более высокого уровня — организменного. **Организм** (от лат. *organisme* — устраиваю, придаю стройный вид) — **это биологическая система**, состоящая из взаимосвязанных элементов, функционирующая как единое целое. Трактую это определение в широком смысле, организмом можно считать не только отдельного индивидуума, но и семью, популяцию, экосистему. Мир живых существ — это мир биологических систем разного уровня сложности. Но нас с вами на данном этапе интересует более узкое определение этого понятия — **организм как отдельная особь**.

3.1. Организм — единое целое. Многообразие организмов

Вспомните!

В чем сходство и принципиальное отличие между одноклеточными и многоклеточными организмами?

Какие одноклеточные организмы вам известны?

Особь, или индивидуум (от лат. *individuum* — неделимое), — это неделимая единица жизни. Самый главный признак любого живого организма — строгая взаимозависимость отдельных его частей. Разделение особи на части приведет к потере ее целостной уникальной индивидуальности. Человек, птица, дерево — это особи, но печень, мозг, крыло, клюв, лист или ветка не обладают признаками целого организма. Организм — это не простая сумма клеток, тканей и органов. Лишь строгое соподчинение и взаимодействие формируют новое единство и придают особи черты и свойства, отсутствующие у отдельных ее компонентов.

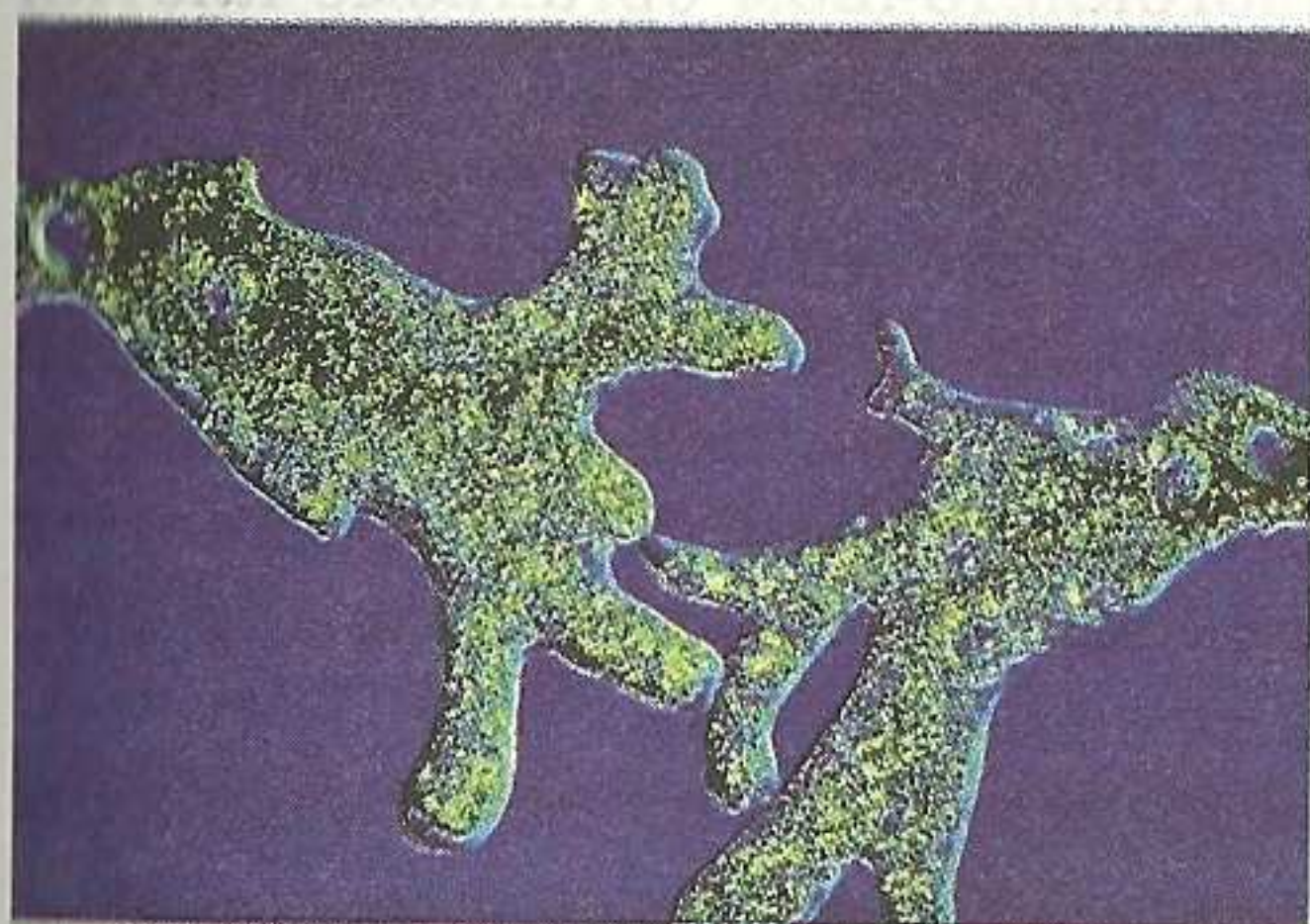
Любой живой организм имеет клеточное строение. Исключение, как нам уже известно, составляют вирусы, но и они не способны существовать вне клеток (§ 2.11). Ученые до сих пор спорят, относить ли вирусы к живым существам. С одной стороны, они обладают свойствами живой материи — наследственностью и изменчивостью, но в то же время не способны к самостоятельному существованию и размножению, проявляя эти свойства только внутри про- или эукариотических клеток.

Многообразие живых существ нашей планеты, образующих единую биосферу, огромно и с трудом поддается описанию и подсчету. По самым приблизительным оценкам, сейчас на Земле обитает несколько миллионов видов живых организмов. Только беспозвоночных насчитывают более 1,5 млн видов, при этом каждый год описывают сотни новых видов, и ученые считают, что большинство беспозвоночных животных, в основном пауков, насекомых и круглых червей, до сих пор неизвестны науке. Более 350 тыс. видов растений, около 100 тыс. видов грибов, огромное количество видов бактерий и синезеленых водорослей населяют нашу планету, создавая то неповторимое единство, частью которого являемся и мы с вами.

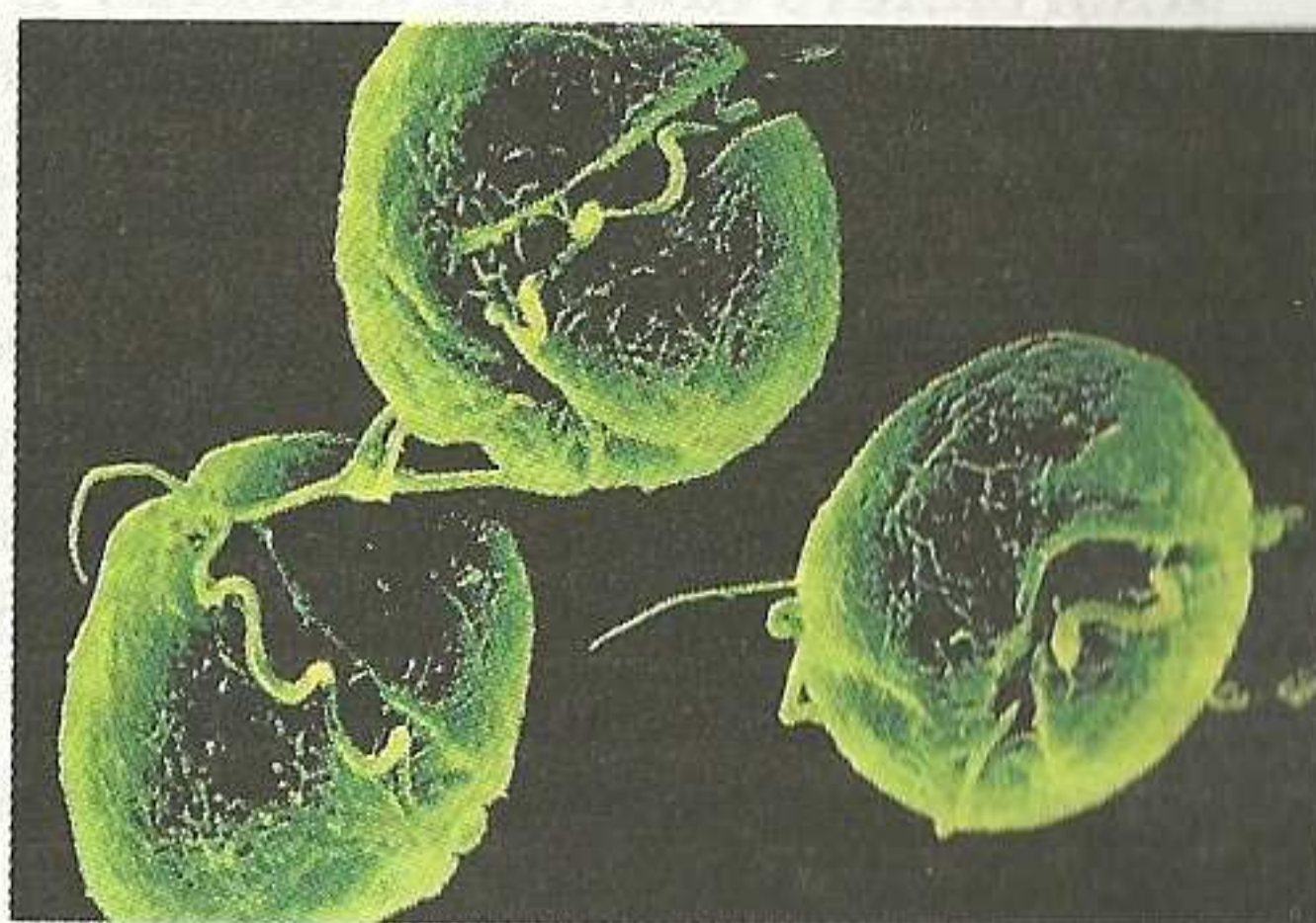
Для любого организма характерны все признаки живого: обмен веществ и превращение энергии, рост, развитие и размножение, наследственность и изменчивость. Эти свойства мы рассмотрим с вами в последующих параграфах этой главы.

Все организмы подразделяют на одноклеточные и многоклеточные.

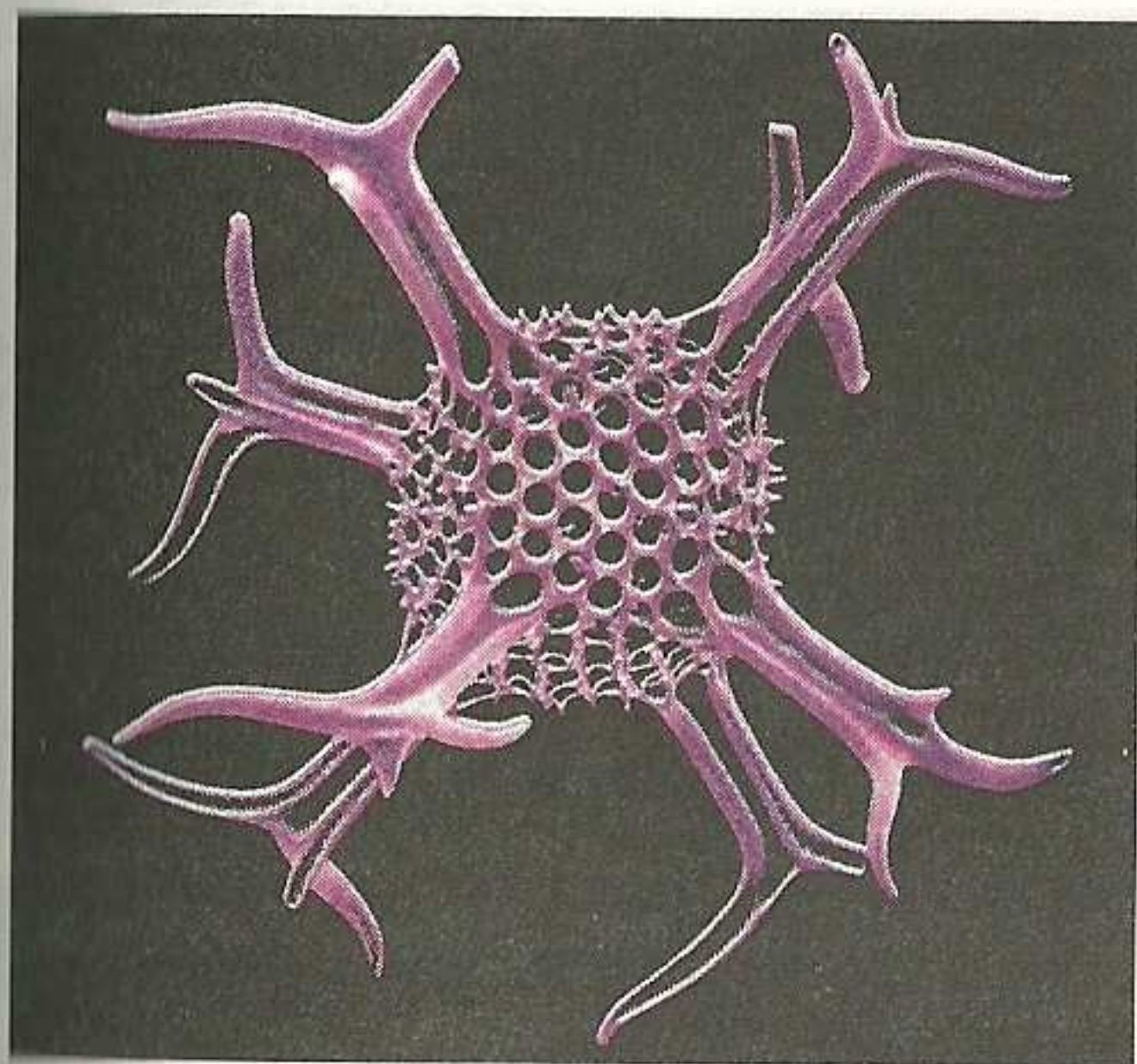
Одноклеточные организмы. К этой группе относят организмы, тело которых состоит из одной клетки, т. е. для них клеточный и организменный уровни едины. Одноклеточные прокариоты — это бактерии и синезеленые водоросли (цианобактерии). Одноклеточные эукариоты встречаются во всех трех царствах эукариот. У грибов — это одноклеточные дрожжи, в царстве растений — одноклеточные зеленые водоросли (например, хламидомонада и хлорелла), среди животных — более 40 тыс. видов простейших, например амебы и инфузории, споровики и фораминиферы (рис. 46). Клетки одноклеточных обладают всеми признаками самостоятельных организмов и способны осуществлять



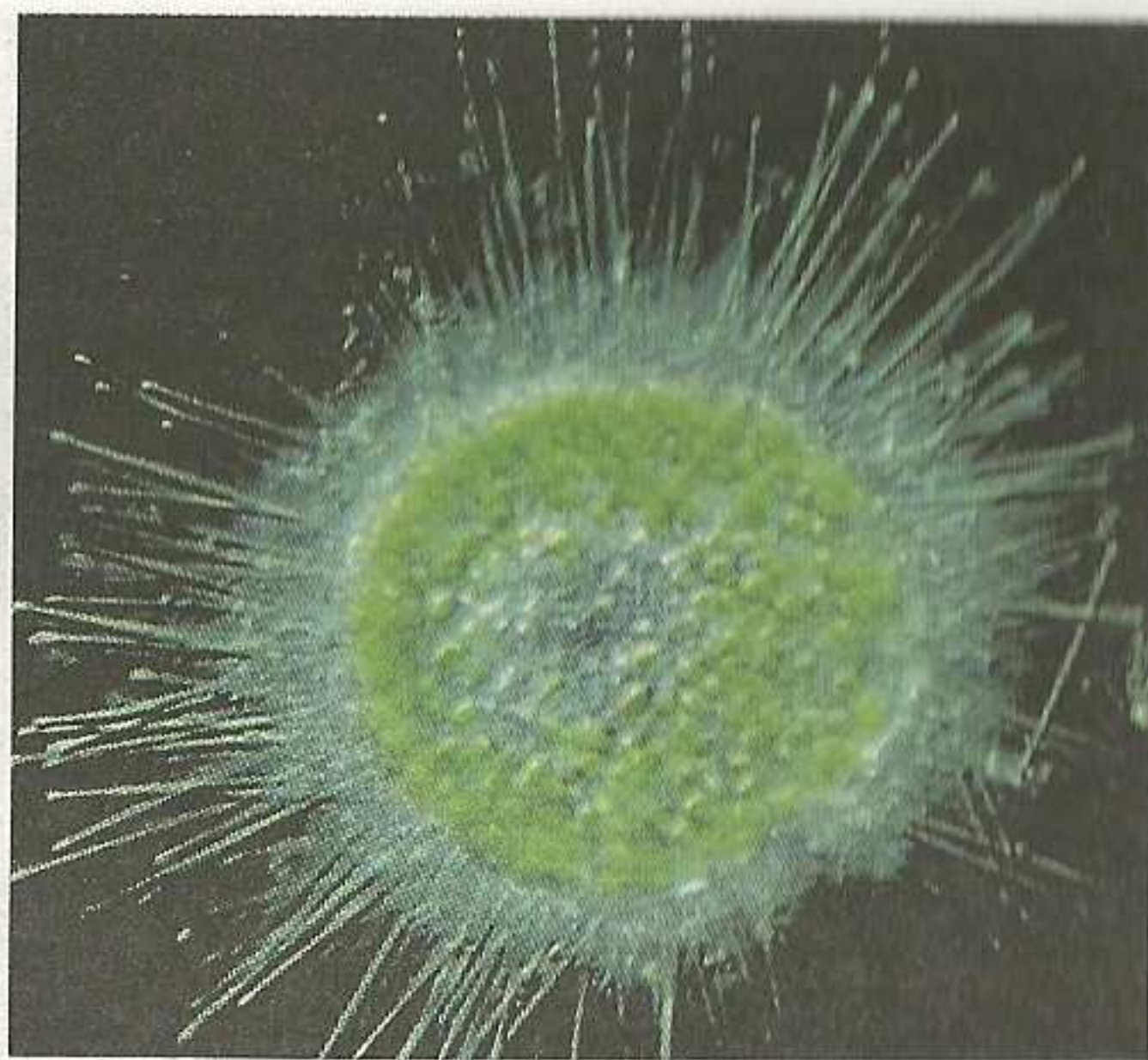
А



Б



В



Г

Рис. 46. Многообразие одноклеточных организмов: А — амеба; Б — зеленые водоросли; В — радиолярия; Г — солнечник

все функции, необходимые для жизнедеятельности. В отличие от клеток многоклеточных организмов у одноклеточных существуют органоиды специального назначения, помогающие им осуществлять все необходимые функции. Способность к движению и захвату пищи обеспечивают ложноножки, жгутики и реснички. Для реализации выделительной функции существуют сократительные вакуоли. Свойство живых организмов — раздражимость обеспечивают специализированные внутриклеточные структуры, например светочувствительный глазок у эвглены зеленой позволяет ей перемещаться к источнику света. Клетки одноклеточных устроены гораздо более сложно, нежели клетки, входящие в состав многоклеточного организма.

Многоклеточные организмы. В многоклеточном организме клетки специализированы, т. е. они способны выполнять только какую-то определенную функцию и не могут самостоятельно существовать вне целого организма. У представителя кишечнополостных — гидры — организм состоит из семи типов клеток, а организм человека образован клетками более ста типов. Совокупность клеток различных типов и межклеточного вещества, связанных выполнением ряда одинаковых функций, называется тканью. Ткани и органы характерны не для всех многоклеточных организмов. Так, у кишечнополостных и губок, у низших растений — водорослей — разные типы клеток не объединены

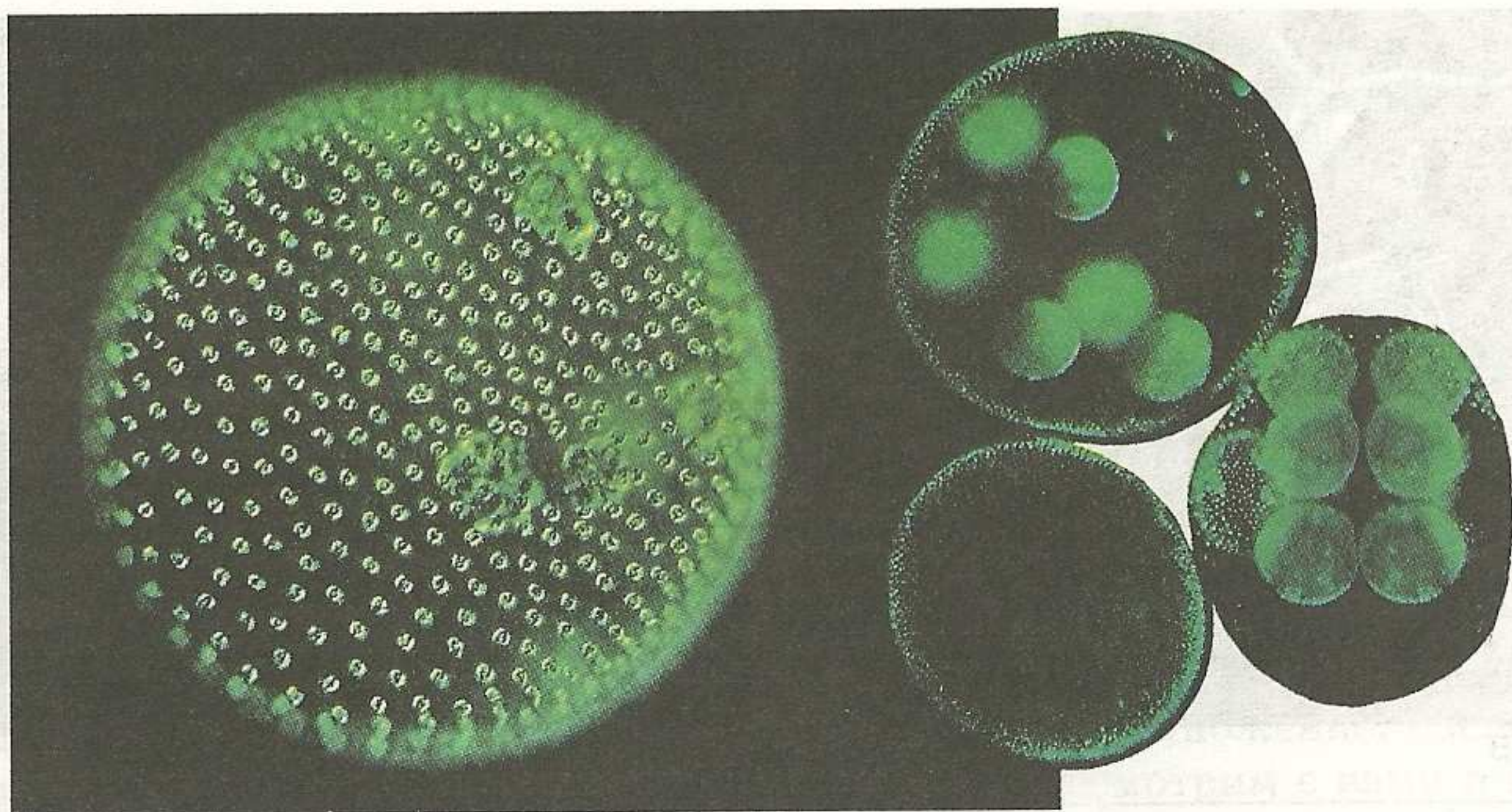


Рис. 47. Вольвокс

в ткани, не образуют органы и системы органов. Специализация клеток у многоклеточных организмов повышает эффективность работы всего организма в целом, усложняет его структуру и обеспечивает более сложные формы поведения.

Колонии одноклеточных организмов. Среди живых организмов существует группа, занимающая промежуточное положение между одноклеточными и многоклеточными организмами. Колониальные организмы — это совокупность одноклеточных особей, ведущих совместный образ жизни. Типичным представителем таких организмов является вольвокс — заполненный слизью шар, поверхность которого образована тысячами клеток (рис. 47). Двухжгутиковые клетки колонии связаны друг с другом цитоплазматическими мостиками, что позволяет вольвоксу согласованно работать жгутиками и плыть в направлении источника света. Отдельные клетки вольвокса уходят внутрь шара, образуя там «дочерние» молодые колонии. Новые колонии растут, порой образуя внутри себя уже «внучатые» колонии. Спустя некоторое время материнская колония лопается и погибает, а «дочерние» и «внучатые» колонии выходят наружу. По мнению многих ученых, многоклеточные организмы в процессе эволюции возникли в результате усложнения организации некоторых колониальных простейших.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое организм? Постарайтесь дать определение этого понятия.
2. Что такое одноклеточный организм? Приведите примеры.
3. Какие особенности строения клетки могут обеспечить выполнение функций, свойственных целостному организму?
4. Подумайте, какое значение для эволюции жизни на Земле имело появление многоклеточности?

3.2. Обмен веществ и превращение энергии. Энергетический обмен

Вспомните!

Что такое метаболизм?

Из каких двух взаимосвязанных процессов он состоит?

Где в организме человека происходит расщепление большей части органических веществ, поступающих с пищей?

Обмен веществ и энергии. Главным условием жизни любого организма является обмен веществ и энергии с окружающей средой. В каждой клетке непрерывно происходят сложнейшие процессы, которые направлены на поддержание и обеспечение нормальной жизнедеятельности самой клетки и организма в целом. Синтезируются сложные высокомолекулярные соединения: из аминокислот образуются белки, из простых сахаров — полисахариды, из нуклеотидов — нуклеиновые кислоты. Клетки делятся и образуют новые органоиды, из клетки и в клетку активно транспортируются различные вещества. По нервным волокнам передаются электрические импульсы, сокращаются мышцы, поддерживается постоянная температура тела — на все это, а также на многие другие процессы, протекающие в организме, требуется энергия. Эта энергия образуется при расщеплении органических веществ. *Совокупность реакций расщепления высокомолекулярных соединений, которые сопровождаются выделением и запасанием энергии, называют энергетическим обменом или диссимиляцией.* В основном энергия запасается в виде универсального энергоемкого соединения — АТФ.

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) — нуклеотид, состоящий из азотистого основания (аденина), сахара рибозы и трех остатков фосфорной кислоты (рис. 48). АТФ является главной энергетической молекулой клетки, своего рода аккумулятором энергии. Все процессы в живых организмах, требующие затрат энергии, сопровождаются превращением молекулы АТФ в АДФ (аденозиндифосфорную кислоту). При отщеплении остатка фосфорной кислоты высвобождается большое количество энергии — 40 кДж/моль. Таких высокоэнергетических (так называемых макроэргических) связей в молекуле АТФ две. Восстановление структуры АТФ из АДФ и фосфорной кислоты происходит в митохондриях и сопровождается поглощением энергии.

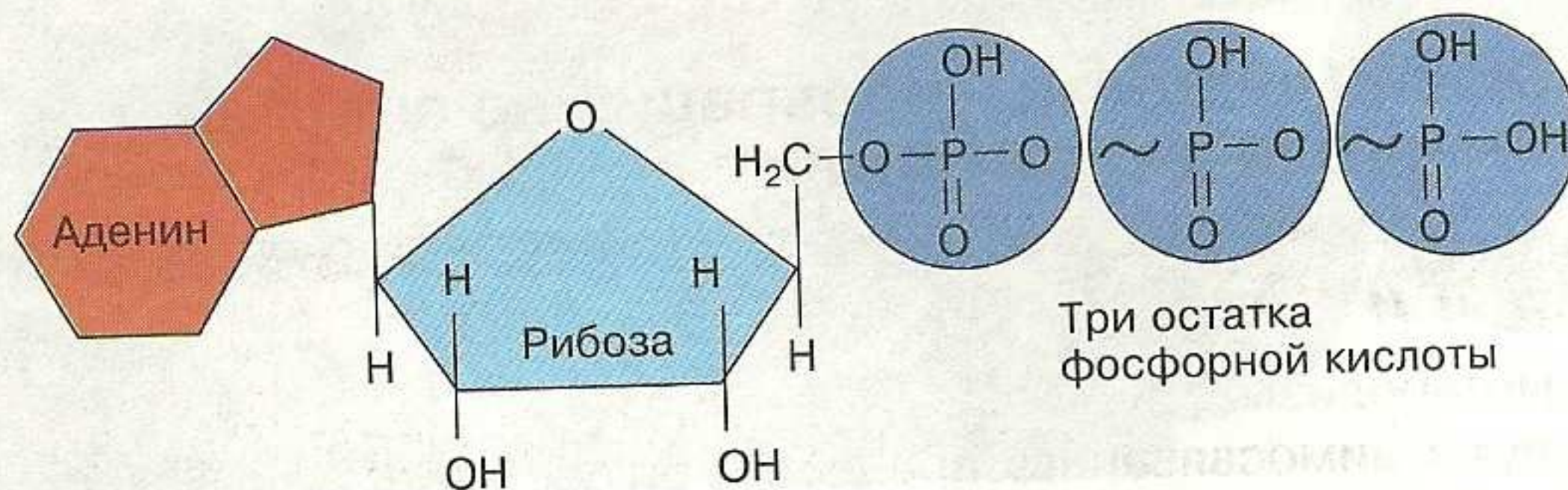


Рис. 48. Строение молекулы АТФ (знаком «~» обозначена макроэргическая связь)

Запас органических веществ, которые организм расходует для получения энергии, должен постоянно пополняться или за счет пищи, как это происходит у животных, или путем синтеза из неорганических веществ (растения). *Совокупность всех процессов биосинтеза, протекающих в живых организмах, называют пластическим обменом или ассимиляцией.* Пластический обмен всегда сопровождается поглощением энергии. Основными процессами пластического обмена являются биосинтез белка (§ 2.10) и фотосинтез (§ 3.3).

Итак, в процессе энергетического обмена расщепляются органические соединения и запасается энергия, а во время пластического обмена расходуется энергия и синтезируются органические вещества. Реакции энергетического и пластического обмена находятся в неразрывной связи, образуя в совокупности единый процесс — *обмен веществ и энергии, или метаболизм.* Метаболизм непрерывно осуществляется во всех клетках, тканях и органах, поддерживая постоянство внутренней среды организма — *гомеостаз.*

Энергетический обмен. Большинству организмов на нашей планете для жизнедеятельности необходим кислород. Такие организмы называют *аэробными.* Энергетический обмен у аэробов происходит в три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный. При наличии кислорода органические вещества в процессе дыхания полностью окисляются до углекислого газа и воды, в результате чего запасается большое количество энергии.

Анаэробные организмы способны обходиться без кислорода. Для некоторых из них кислород вообще губителен, поэтому они живут там, где кислорода нет совсем, как, например, возбудитель столбняка. Другие, так называемые факультативные анаэробы, могут существовать как без кислорода, так и в его присутствии. Энергетический обмен у анаэробных организмов происходит в два этапа: подготовительный и бескислородный, поэтому органические вещества окисляются не полностью и энергии запасается гораздо меньше.

Рассмотрим более подробно три этапа энергетического обмена (рис. 49).

Подготовительный этап. Этот этап осуществляется в желудочно-кишечном тракте и в лизосомах клеток. Здесь высокомолекулярные соединения под действием пищеварительных ферментов распадаются до более простых, низкомолекулярных: белки — до аминокислот, полисахариды — до моносахаридов, жиры — до глицерина и жирных

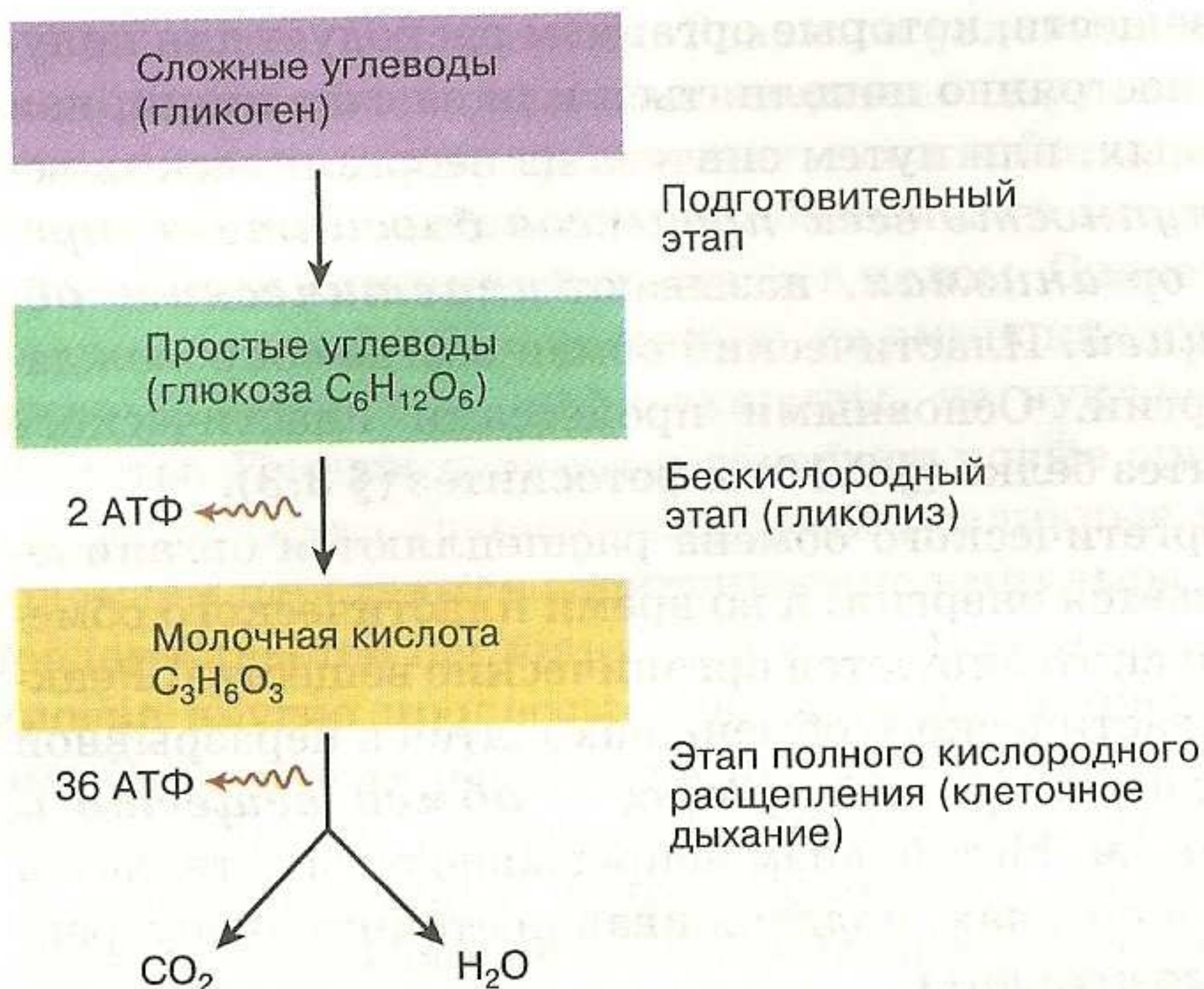


Рис. 49. Этапы энергетического обмена

кислот. Энергия, которая выделяется при этих реакциях, не запасается, а рассеивается в виде тепла. Низкомолекулярные вещества, образующиеся на подготовительном этапе, могут использоваться организмом для синтеза своих собственных органических соединений, т. е. вступать в пластический обмен или расщепляться дальше с целью запасания энергии.

Бескислородный этап. Второй этап протекает в цитоплазме клеток, где происходит дальнейшее расщепление простых органических веществ. Аминокислоты, образованные на первом этапе, организм не использует на следующих этапах диссимиляции, потому что они необходимы ему в качестве материала для синтеза собственных белковых молекул. Поэтому для получения энергии очень редко расходуются белки, только в том случае, когда остальные резервы (углеводы и жиры) уже исчерпаны. Обычно самым доступным источником энергии в клетке является глюкоза.

Сложный многоступенчатый процесс бескислородного расщепления глюкозы на втором этапе энергетического обмена называют *гликолизом* (от греч. *glucos* — сладкий и *lysis* — расщепление).

В результате гликолиза глюкоза расщепляется до более простых органических соединений (глюкоза $C_6H_{12}O_6 \rightarrow$ пировиноградная кислота $C_3H_4O_3$). При этом выделяется энергия, 60% которой рассеивается в виде тепла, а 40% используется для синтеза АТФ. При расщепле-

нии одной молекулы глюкозы образуется две молекулы АТФ и две молекулы пировиноградной кислоты. Таким образом, на втором этапе диссимиляции организм начинает запасать энергию.

Дальнейшая судьба пировиноградной кислоты зависит от присутствия кислорода в клетке. Если кислород есть, то пировиноградная кислота поступает в митохондрии, где происходит ее полное окисление до CO_2 и H_2O и осуществляется третий, кислородный этап энергетического обмена (см. ниже).

При отсутствии кислорода происходит так называемое анаэробное дыхание, которое часто называют *брожением*. В клетках дрожжей в процессе спиртового брожения пировиноградная кислота (ПВК) превращается в этиловый спирт ($\text{ПВК} \longrightarrow \text{Этиловый спирт} + \text{CO}_2$).

При молочнокислом брожении из ПВК образуется молочная кислота. Этот процесс может происходить не только у молочнокислых бактерий. При напряженной физической работе в клетках мышечной ткани человека возникает нехватка кислорода, в результате чего образуется молочная кислота, накопление которой вызывает чувство усталости, боль и иногда даже судороги.

Кислородный этап. На третьем этапе продукты, образовавшиеся при бескислородном расщеплении глюкозы, окисляются до углекислого газа и воды. При этом освобождается большое количество энергии, значительная часть которой используется для синтеза АТФ. Этот процесс протекает в митохондриях и называется *клеточным дыханием*. В ходе клеточного дыхания при окислении двух молекул ПВК выделяется энергия, запасаемая организмом в виде 36 молекул АТФ.

Итак, в процессе энергетического обмена при полном окислении одной молекулы глюкозы до углекислого газа и воды образуется 38 молекул АТФ (2 молекулы — в процессе гликолиза и 36 — в процессе клеточного дыхания в митохондриях):



В анаэробных условиях эффективность энергетического обмена значительно ниже — всего 2 молекулы АТФ. Продукты брожения (этиловый спирт, молочная кислота, масляная кислота) в своих химических связях сохраняют еще много энергии, т. е. более выгодным в энергетическом отношении является кислородный путь диссимиляции. Но исторически брожение — более древний процесс. Он мог осуществляться еще тогда, когда в атмосфере древней Земли отсутствовал свободный кислород.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое диссимиляция? Перечислите ее этапы.
2. В чем заключается роль АТФ в обмене веществ в клетке?
3. Какие структуры клетки осуществляют синтез АТФ?
4. Расскажите об энергетическом обмене в клетке на примере расщепления глюкозы.

3.3. Пластический обмен. Фотосинтез

Вспомните!

Какую часть метаболизма называют пластическим обменом?

Какова роль зеленых растений в природе?

В каких органоидах клетки осуществляется фотосинтез?

Любой живой организм — открытая динамичная система, в которой постоянно осуществляются разнообразные процессы. В ходе жизнедеятельности клетки накапливают питательные вещества, образуют новые органоиды, растут, делятся, выполняют свои специфические функции, осуществляя при этом активный синтез органических веществ — пластический обмен и расходуя энергию, запасенную в процессе энергетического обмена. Особенно активно ассимиляция происходит в период роста организма. Но для осуществления процессов биосинтеза наличия одной энергии мало. Нужен еще материал, из которого организм сможет синтезировать свои органические соединения. Самым важным элементом, необходимым всем живым организмам, является углерод.

Типы питания. В зависимости от способа получения углерода, т. е. по типу питания, все организмы делят на две большие группы: автотрофы и гетеротрофы.

Автотрофные организмы способны самостоятельно синтезировать необходимые органические соединения, используя в качестве источника углерода неорганическое вещество — углекислый газ (CO_2). Для этого они используют энергию света (растения и синезеленые водоросли) или энергию, выделяющуюся при окислении неорганических соединений (серобактерии, железобактерии).

Гетеротрофные организмы используют в качестве источника углерода и одновременно источника энергии готовые органические веще-

ства. К гетеротрофам относят всех животных, грибы и большинство бактерий.

Существуют еще *миксотрофные организмы* (от греч. *mixis* — смешение), которые сочетают свойства автотрофов и гетеротрофов. К ним относят, например, эвглену зеленую, способную на свету самостоятельно синтезировать органические вещества, а в темноте — питаться готовыми.

Фотосинтез. Одним из наиболее важных процессов пластического обмена является фотосинтез — образование органических веществ при помощи энергии света. Эта энергия служит основным источником жизни на нашей планете. Зеленые растения и цианобактерии (синезеленые водоросли) используют солнечную энергию, синтезируя с ее помощью органические соединения и аккумулируя ее таким образом в виде энергии химических связей. Практически все живое на Земле так или иначе связано с фотосинтезом. Гетеротрофные организмы полностью зависят от автотрофов, которые поставляют им углерод в виде готовых органических соединений. В процессе фотосинтеза выделяется кислород, используемый для дыхания. Все запасы горючих полезных ископаемых на нашей планете образовались органическим путем из остатков

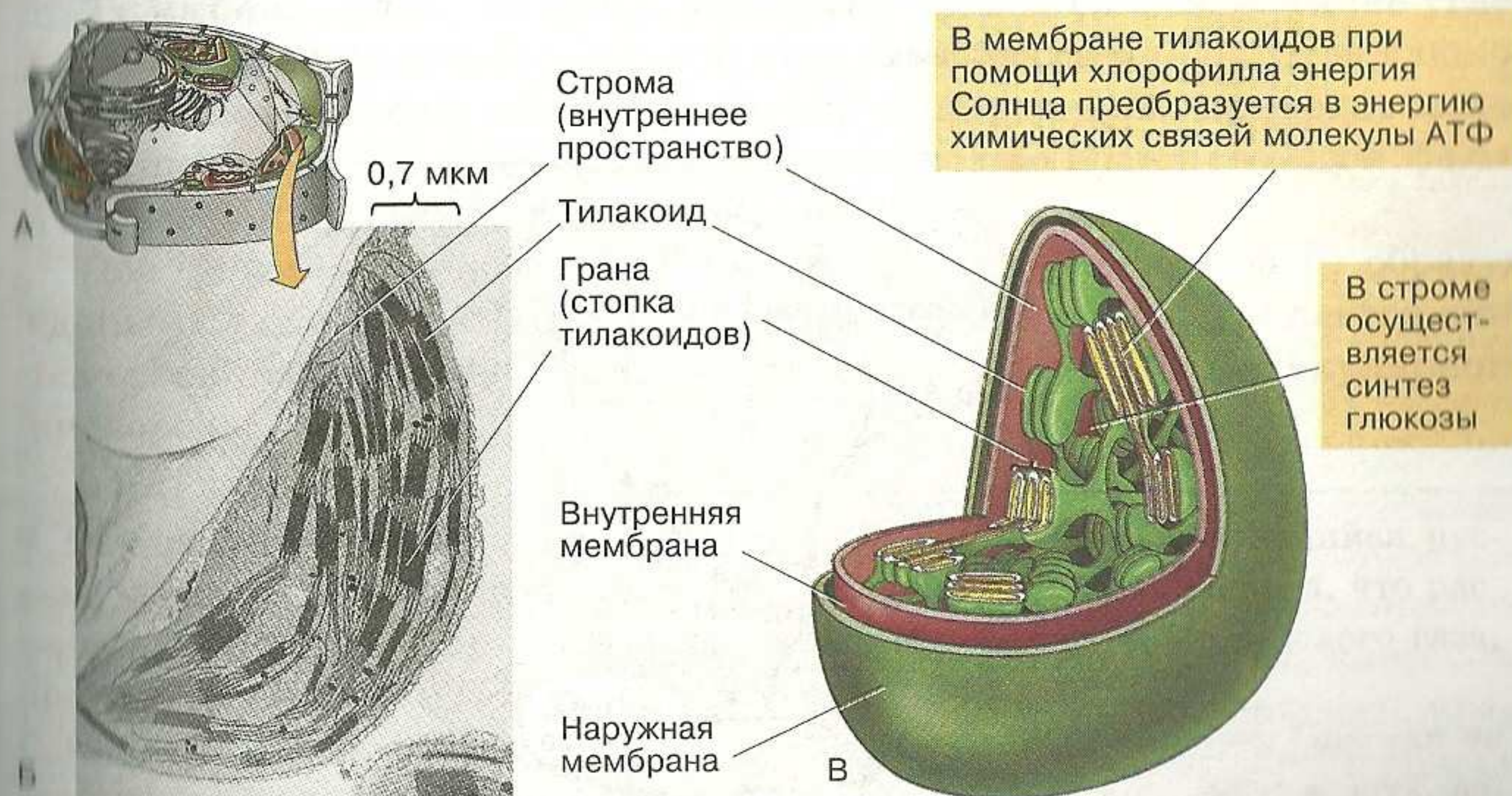
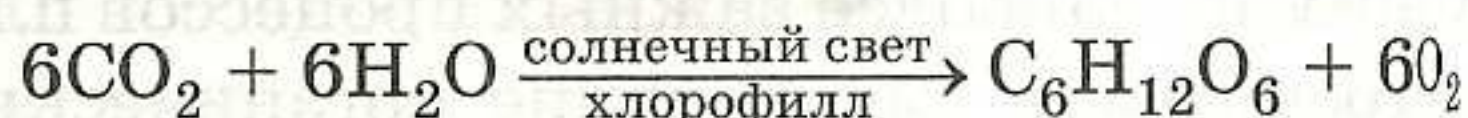


Рис. 50. Хлоропласт: А — расположение в клетке; Б — электронная фотография; В — схема строения

растений, живших много миллионов лет назад. Сжигая уголь и нефть, мы используем солнечную энергию, запасенную древними растениями.

Все реакции фотосинтеза осуществляются в специализированных органоидах: у высших растений — в хлоропластах, у водорослей — в хроматофорах, а у цианобактерий — на тилакоидах — впячиваниях клеточной мембраны (рис. 50).

Суммарное уравнение фотосинтеза можно записать в следующем виде:



В процессе фотосинтеза при участии углекислого газа и воды образуется сахар — глюкоза. Эта реакция протекает за счет энергии света, которая запасается в химических связях молекулы глюкозы, т. е. во время фотосинтеза происходит преобразование солнечной энергии в химическую (рис. 51). Весь этот процесс можно условно разделить на две фазы — световую и темновую.

Световая фаза. Во время световой фазы молекулы пигмента — хлорофилла поглощают кванты света — фотоны и переходят в неус-

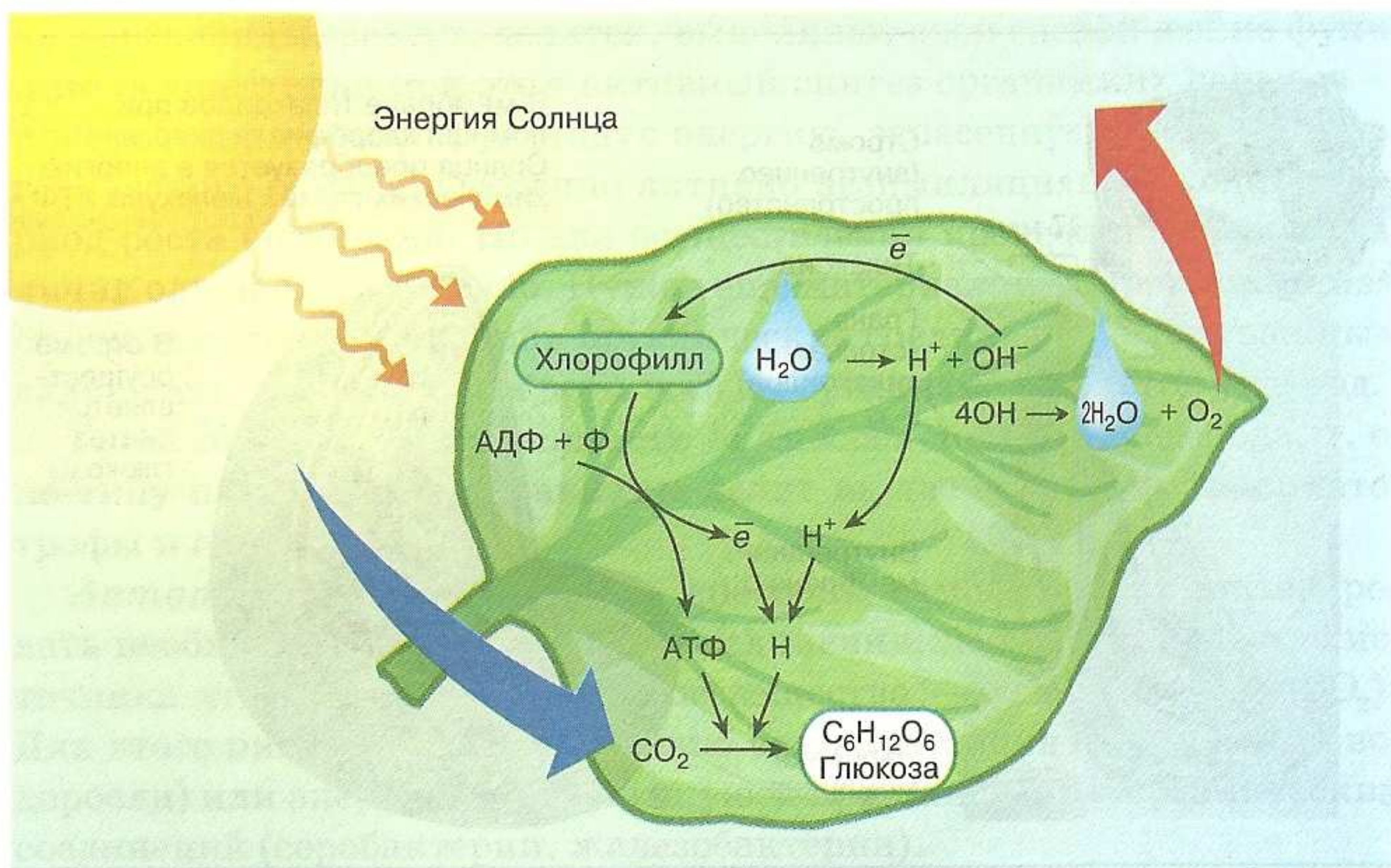
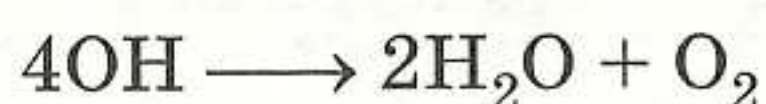
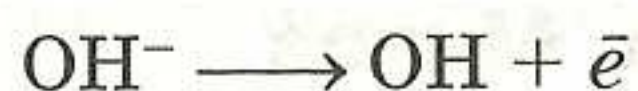


Рис. 51. Фотосинтез у высших растений

тойчивое возбужденное состояние. Стремясь вернуться в исходное состояние, они отдают эту избыточную энергию, которая частично переходит в тепловую. Другая часть избыточной энергии запасается в виде АТФ, т. е. накапливается энергия, необходимая для осуществления процессов, протекающих в темновой фазе.

В водном растворе всегда присутствуют ионы водорода (H^+) и гидроксид-ионы (OH^-). Часть избыточной энергии возбужденных молекул хлорофилла тратится на превращение ионов H^+ в атомы водорода, которые активно соединяются со сложными органическими веществами — переносчиками водорода.

Оставшиеся ионы OH^- отдают свои электроны молекулам хлорофилла, превращаются в свободные радикалы и взаимодействуют друг с другом, образуя воду и молекулярный кислород:



По сути, кислород, образующийся во время световой фазы, является побочным продуктом фотосинтеза.

Все описанные выше реакции происходят только на свету. Реакции темновой фазы могут осуществляться как на свету, так и в темноте.

Темновая фаза. Во время этой фазы происходит связывание углекислого газа и использование его атомов углерода для синтеза глюкозы. Атомы водорода, необходимые для этой реакции, приносят молекулы-переносчики, присоединившие водород во время световой фазы, а энергию предоставляют молекулы АТФ.

Обе фазы фотосинтеза неразрывно связаны между собой, образуя единый сложный процесс, важнейшим итогом которого является синтез органических соединений — сахаров и выделение молекулярного кислорода. ■

■ Большой вклад в изучение процесса фотосинтеза внес выдающийся русский ученый Климент Аркадьевич Тимирязев. Он впервые доказал, что растения, синтезируя сахара из неорганического вещества — углекислого газа, преобразуют энергию света в энергию химических связей.

Однако еще гораздо раньше, в 1771 г., английский ученый Джозеф Пристли на основании своих наблюдений сделал вывод, что растения улучшают воздух, делая его пригодным для дыхания. Так впервые было определено уникальное значение зеленых растений.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое ассимиляция?
2. Опишите известные вам типы питания.
3. Какие организмы называют автотрофными?
4. Почему у зеленых растений в результате фотосинтеза выделяется в атмосферу свободный кислород?
5. Каковы признаки гетеротрофного типа питания? Приведите примеры гетеротрофных организмов.
6. Как вы думаете, почему все живое на Земле можно назвать «детьми Солнца»?

3.4. Деление клетки. Митоз

Вспомните!

Как, согласно клеточной теории, происходит увеличение числа клеток? Как вы считаете, одинакова ли продолжительность жизни разных типов клеток в многоклеточном организме? Обоснуйте свое мнение.

В момент рождения ребенок весит в среднем 3—3,5 кг и имеет рост около 50 см, детеныш бурого медведя, чьи родители достигают веса 200 кг и более, весит не более 500 г, а крошечный кенгуренок — менее 1 грамма. Из серого невзрачного птенца вырастает прекрасный лебедь, юркий головастик превращается в степенную жабу, а из посаженного возле дома желудя вырастает громадный дуб, который спустя сотню лет радуется своей красотой новые поколения людей. Все эти изменения возможны благодаря способности организмов к росту и развитию. Дерево не превратится в семя, рыба не вернется в икринку — процессы роста и развития необратимы. Эти два свойства живой материи неразрывно связаны друг с другом, и в их основе лежит способность клетки к делению и специализации.

Рост инфузории или амебы — это увеличение размеров и усложнение строения отдельной клетки за счет процессов биосинтеза. Но рост многоклеточного организма — это не только увеличение размеров клеток, но и их активное деление — увеличение количества. Скорость роста, особенности развития, размеры, до которых может дорасти определенная особь, — все это зависит от многих факторов, в том числе и от влияния среды. Но основным, определяющим фактором всех этих про-

цессов служит наследственная информация, которая хранится в виде хромосом в ядре каждой клетки. Все клетки многоклеточного организма происходят из одной оплодотворенной яйцеклетки. В процессе роста каждая вновь образующаяся клетка должна получить точную копию генетического материала, чтобы, обладая общей наследственной программой организма, специализироваться и, выполняя свою определенную функцию, являться неотъемлемой частью целого.

В связи с дифференцировкой, т. е. разделением на разные типы, клетки многоклеточного организма имеют неодинаковую продолжительность жизни. Например, нервные клетки перестают делиться еще во время внутриутробного развития, и в течение жизни организма их количество может только уменьшаться. Однажды возникнув, больше не делятся и живут столько, сколько ткань или орган, в состав которых они входят, клетки, образующие поперечно-полосатые мышечные ткани у животных и запасающие ткани у растений. Постоянно делятся клетки красного костного мозга, образуя клетки крови, продолжительность жизни которых ограничена. В процессе выполнения своих функций быстро гибнут клетки кожного эпителия, поэтому в ростковой зоне эпидермиса клетки делятся очень интенсивно. Активно делятся камбиальные клетки и клетки конусов нарастания у растений. Чем выше специализация клеток, тем ниже их способность к размножению. ■

Жизненный цикл клетки. *Период жизни клетки от момента ее возникновения в процессе деления до гибели или конца последующего деления называют жизненным циклом.* Клетка возникает в процессе деления материнской клетки и исчезает в ходе собственного деления или гибели. Продолжительность жизненного цикла у разных клеток очень сильно различается и зависит от типа клеток и условий внешней среды (температуры, наличия кислорода и питательных веществ). Например, жизненный цикл амебы равен 36 часам, а бактерии могут делиться каждые 20 минут.

■ В организме человека около 10^{14} клеток. Ежедневно погибает около 70 млрд клеток кишечного эпителия и 2 млрд эритроцитов. Самые короткоживущие — это клетки кишечного эпителия, чья продолжительность жизни составляет всего 1—2 дня.

Жизненный цикл любой клетки представляет собой совокупность событий, протекающих в клетке с момента ее возникновения в результате деления и до гибели или последующего митоза. Жизненный цикл может включать митотический цикл, состоящий из подготовки к ми-

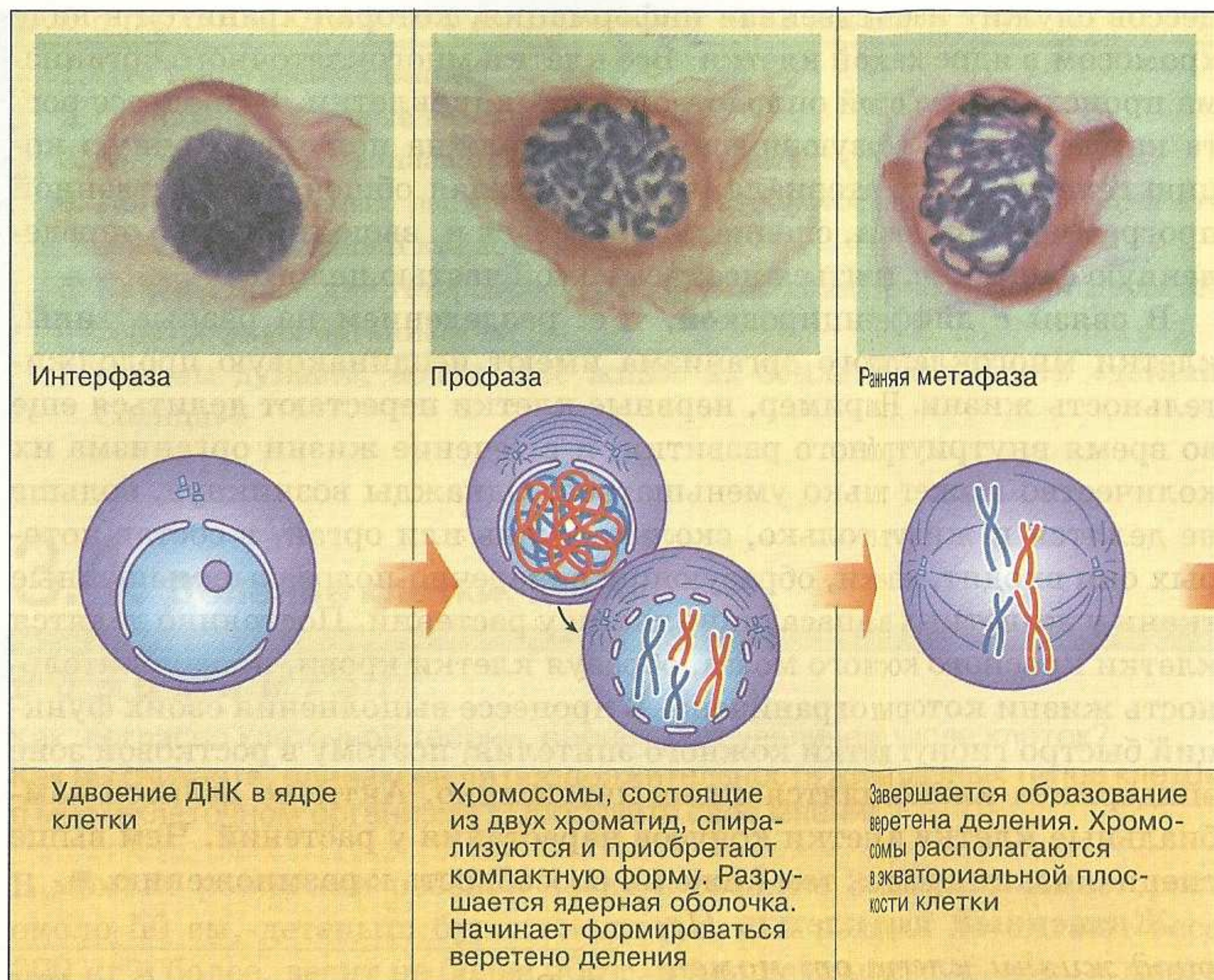
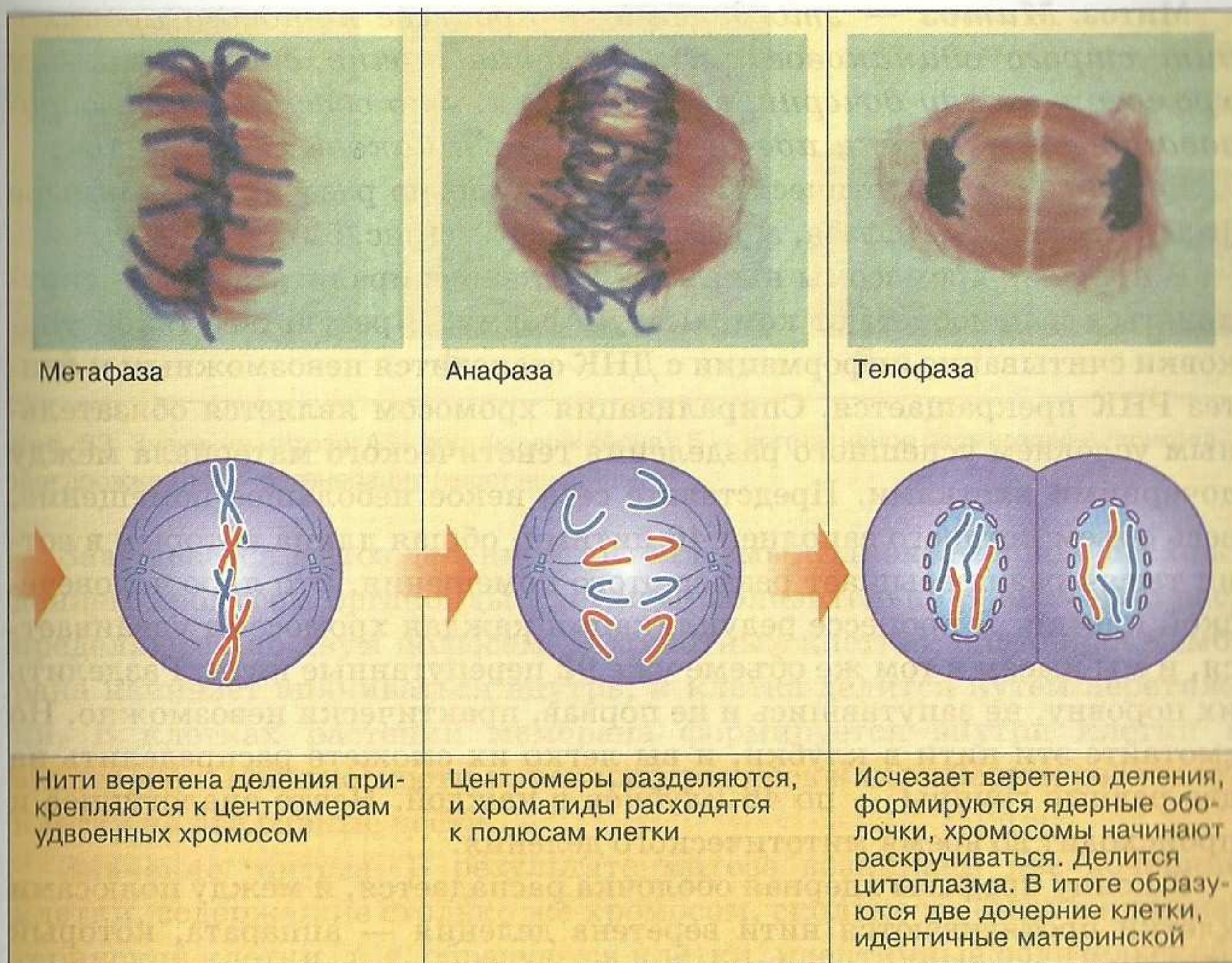


Рис. 52. Фазы митоза

тозу — *интерфазы* и самого деления, а также стадию специализации — дифференцировки, во время которой клетка выполняет свои специфические функции. Продолжительность интерфазы всегда больше, чем само деление. У клеток кишечного эпителия грызунов интерфаза длится в среднем 15 часов, а деление осуществляется за 0,5—1 час. Во время интерфазы в клетке активно идут процессы биосинтеза, клетка растет, образует органоиды и готовится к следующему делению. Но, несомненно, самым важным процессом, происходящим во время интерфазы в ходе подготовки к делению, является удвоение ДНК (§ 2.6).

Две спирали молекулы ДНК расходятся и на каждой из них синтезируется новая полинуклеотидная цепь. Редупликация ДНК происходит с высочайшей точностью, что обеспечивается принципом комплементарности. Новые молекулы ДНК являются абсолютно идентичными ко-



пиями исходной, и после завершения процесса удвоения они остаются соединенными в области центромеры. Молекулы ДНК, входящие в состав хромосомы после редупликации, называют *хроматидами*.

В точности процесса редупликации заключается глубокий биологический смысл: нарушение копирования привело бы к искажению наследственной информации и, как следствие, к нарушению функционирования дочерних клеток и всего организма в целом.

Если бы удвоения ДНК не происходило, то при каждом делении клетки количество хромосом уменьшалось бы вдвое и довольно скоро в каждой клетке совсем не осталось бы хромосом. Однако нам известно, что во всех клетках тела многоклеточного организма количество хромосом одинаково и из поколения в поколение не изменяется. Это постоянство достигается благодаря митотическому делению клеток.

Митоз. *Митоз* — это деление, в процессе которого происходит строго одинаковое распределение точно скопированных хромосом между дочерними клетками, что обеспечивает образование генетически идентичных — одинаковых — клеток.

Весь процесс митотического деления условно разделяют на четыре фазы: профаза, метафаза, анафаза и телофаза (рис. 52).

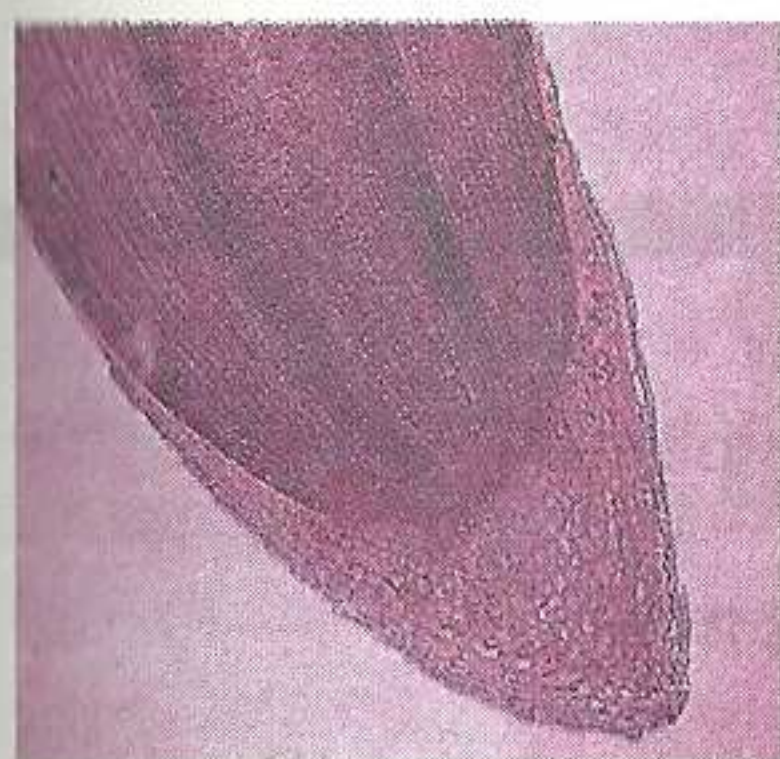
В *профазе* хромосомы начинают активно спирализоваться — скручиваться и приобретают компактную форму. В результате такой упаковки считывание информации с ДНК становится невозможным и синтез РНК прекращается. Спирализация хромосом является обязательным условием успешного разделения генетического материала между дочерними клетками. Представьте себе некое небольшое помещение, весь объем которого заполнен 46 нитями, общая длина которых в сотни тысяч раз превышает размер этого помещения. Это ядро человеческой клетки. В процессе редупликации каждая хромосома удваивается, и мы имеем в том же объеме уже 92 перепутанные нити. Разделить их поровну, не запутавшись и не порвав, практически невозможно. Но смотайте эти нити в клубки, и вы легко их сможете распределить на две равные группы — по 46 клубков в каждой. Нечто аналогичное и происходит во время митотического деления.

К концу профазы ядерная оболочка распадается, и между полюсами клетки протягиваются нити веретена деления — аппарата, который обеспечивает равномерное распределение хромосом.

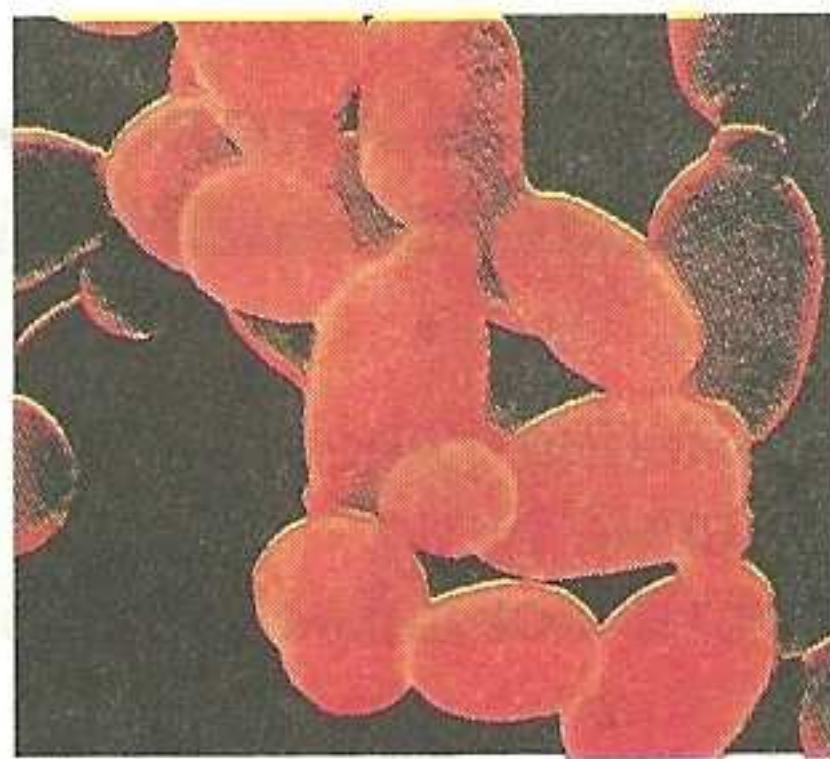
В *метафазе* спирализация хромосом становится максимальной, и компактные хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки. На этой стадии отчетливо видно, что каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид, соединенных в области центромеры. Нити веретена деления прикрепляются к центромере.

Анафаза протекает очень быстро. Центромеры расщепляются надвое, и с этого момента сестринские хроматиды становятся самостоятельными хромосомами. Нити веретена деления, прикрепленные к центромерам, оттягивают хромосомы к полюсам клетки.

На стадии *телофазы* дочерние хромосомы, собравшиеся у полюсов клетки, раскручиваются и вытягиваются. Они вновь превращаются в хроматин и становятся плохо различимыми в световой микроскоп. Вокруг хромосом на обоих полюсах клетки формируются новые ядерные оболочки. Образуются два ядра, содержащие одинаковые диплоидные наборы хромосом.



А



Б



В

Рис. 53. Значение митоза: А — рост (кончик корня); Б — вегетативное размножение (почкование дрожжей); В — регенерация (хвост ящерицы)

Завершается митоз делением цитоплазмы. Одновременно с расхождением хромосом органоиды клетки приблизительно равномерно распределяются по двум полюсам. В животных клетках клеточная мембрана начинает впячиваться внутрь, и клетка делится путем перетяжки. В клетках растений мембрана формируется внутри клетки в экваториальной плоскости и, распространяясь к периферии, разделяет клетку на две равные части.

Значение митоза. В результате митоза возникают две дочерние клетки, содержащие столько же хромосом, сколько их было в ядре материнской клетки, т. е. образуются клетки, идентичные родительской. В нормальных условиях никаких изменений генетической информации в процессе митоза не происходит, поэтому митотическое деление поддерживает *генетическую стабильность* клеток. Митоз лежит в основе роста, развития и вегетативного размножения многоклеточных организмов. Благодаря митозу осуществляются процессы регенерации и замены отмирающих клеток (рис. 53). У одноклеточных эукариотов митоз обеспечивает бесполое размножение.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое жизненный цикл клетки?
2. Каким образом в митотическом цикле происходит удвоение ДНК? В чем смысл этого процесса?
3. В чем заключается подготовка клетки к митозу?
4. Опишите последовательно фазы митоза.
5. Каково биологическое значение митоза?

3.5. Размножение: бесполое и половое

Вспомните!

Какие два основных типа размножения существуют в природе?

Что такое вегетативное размножение?

Какой набор хромосом называют гаплоидным? Диплоидным?

Каждую секунду на Земле гибнут десятки тысяч организмов. Одни от старости, другие из-за болезней, третьих съедают хищники... Мы срываем в саду цветок, наступаем случайно на муравья, убиваем укусившего нас комара и ловим на озере щуку. Каждый организм смертен, поэтому любой вид должен заботиться о том, чтобы его численность не уменьшалась. Смертность одних особей компенсируется рождением других.

Способность к размножению является одним из основных свойств живой материи. *Размножение*, т. е. воспроизведение себе подобных, обеспечивает непрерывность и преемственность жизни. В процессе размножения происходит точное воспроизведение и передача генетической информации от родительского поколения следующему, дочернему, что обеспечивает существование вида на протяжении длительного времени, несмотря на гибель отдельных особей. В основе размножения лежит способность клетки к делению, а передача генетической информации обеспечивает материальную преемственность поколений любого вида. Для того чтобы особь смогла воспроизводить себе подобных, т. е. стать способной к размножению, она должна вырасти и достичь определенной стадии развития. Не все организмы доживают до репродуктивного периода и не все оставляют потомство, поэтому, чтобы поддержать существование вида, каждое поколение должно производить потомков больше, чем было родителей. Свойства живых организмов — рост, развитие и размножение — неразрывно связаны друг с другом.

Все виды организмов способны к размножению. Даже вирусы — неклеточная форма жизни — пусть не самостоятельно, но тоже размножаются в клетках организма-хозяина. В процессе эволюции в природе возникло несколько способов размножения, каждый из которых имеет свои преимущества и свои недостатки. Все разнообразные формы размножения можно объединить в два основных типа — *бесполое* и *половое*.

Бесполое размножение. Этот тип размножения происходит без образования специализированных половых клеток (гамет), и для его осу-

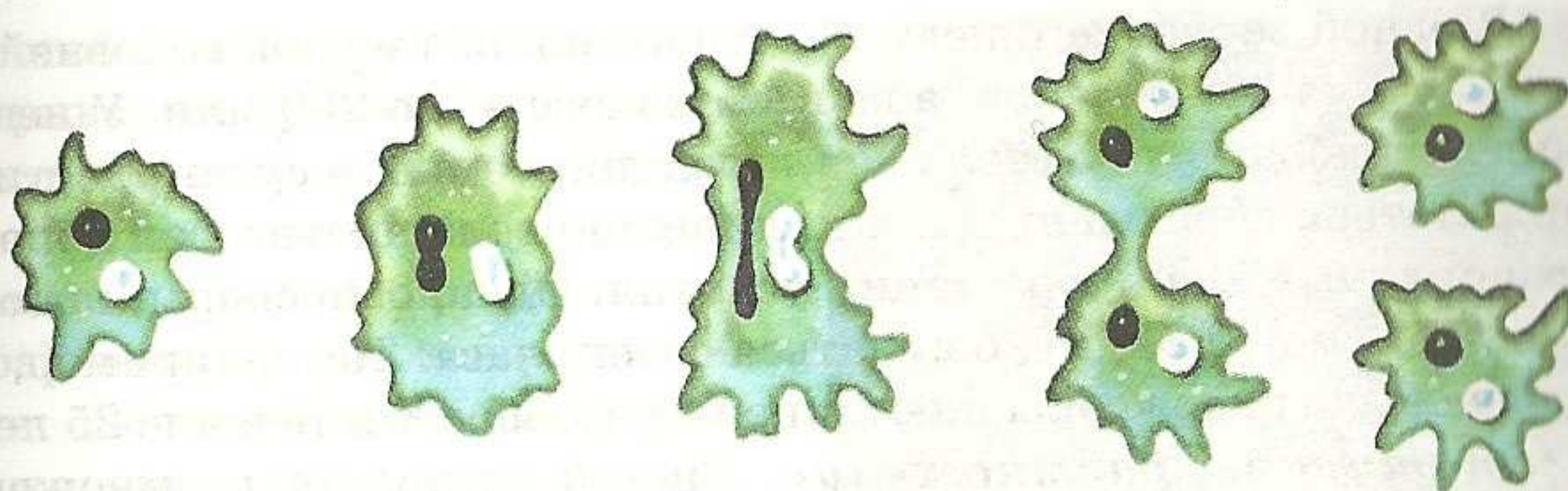


Рис. 54. Деление амебы

ществления необходим только один организм. Новая особь развивается из одной или нескольких соматических (неполовых) клеток материнского организма и является его абсолютной копией. Генетически однородное потомство, происходящее от одной родительской особи, называют *клоном*.

Бесполое размножение является наиболее древней формой размножения, поэтому особенно широко оно распространено у одноклеточных организмов, но встречается и среди многоклеточных.

Существует несколько способов бесполого размножения.

Деление. Прокариотические организмы (бактерии и синезеленые водоросли) размножаются путем простого деления, которому предшествует удвоение единственной кольцевой молекулы ДНК.

Митотическим делением на две и более клеток размножаются простейшие (амебы, инфузории, жгутиковые) (рис. 54) и одноклеточные зеленые водоросли. ■

Спорообразование. Этот способ размножения характерен в основном для грибов и растений. Специализированные клетки — споры — могут образовываться в специальных органах — спорангиях (как это происходит у растений) или открыто, на поверхности организма (как, например, у некоторых плесневых грибов).

Споры продуцируются в огромном количестве и обладают очень малым весом, что облегчает их распространение ветром, а также животными, в основном насеко-

■ У некоторых простейших (малярийный плазмодий) встречается особый способ бесполого размножения, так называемая *шизогония*. Ядро материнской особи делится несколько раз подряд без деления цитоплазмы, а затем образовавшаяся многоядерная клетка распадается на множество одноядерных клеток.

мыми. В одной зерновке пшеницы, пораженной твердой головней, образуется от 8 до 20 млн спор, а во всем колосе — до 200 млн. У некоторых видов грибов количество спор, продуцируемых в сутки, достигает 30 млрд! Потери спор очень велики, лишь ничтожная часть их попадает в благоприятные для прорастания условия. Однако те споры, которым «не повезло», могут долго дожидаться своего часа. Так, например, споры головневых грибов сохраняют жизнеспособность в течение 25 лет.

Вегетативное размножение. Способ бесполого размножения, при котором дочерний организм развивается из группы родительских клеток, называют вегетативным размножением.

Широко распространено такое размножение у растений. В естественных природных условиях оно, как правило, происходит с помощью *специализированных частей тела растения*. Луковица тюльпана, клубнелуковица гладиолуса, растущий горизонтально подземный стебель (корневище) ириса, ползучий, стелющийся по поверхности почвы стебель ежевики, усы земляники, клубни картофеля и корневые клубни георгина — все это органы вегетативного размножения растений.

Особенно часто встречаются различные формы вегетативного размножения среди растений, обитающих в суровых климатических условиях. Неожиданные заморозки в летний день способны погубить цветки или незрелые плоды тундровых растений. Вегетативное размножение позволяет им не зависеть от подобных неожиданностей. Некоторые камнеломки способны образовывать выводковые почки, которые распространяются подобно семенам, мятлики образуют на месте цветков маленькие дочерние растеньица, способные опадать и укореняться, а сердечник луговой размножается исключительно видоизмененными дольками листьев.

Вегетативное размножение у животных осуществляется двумя основными способами: фрагментацией и почкованием.

Фрагментация — это разделение тела на две и более частей, каждая из которых дает начало новой полноценной особи. Этот процесс основан на способности к регенерации. Таким способом могут размножаться

кольчатые и плоские черви, иглокожие и кишечнополостные. ■

Почкование — это образование на теле материнской особи группы клеток — почки, из которой развивается новая особь. В течение некоторого времени дочер-

■ Фрагментация встречается и в растительном царстве. Зеленая водоросль спирогира размножается обрывками своих нитей, а низшие мхи — кусками слоевища.

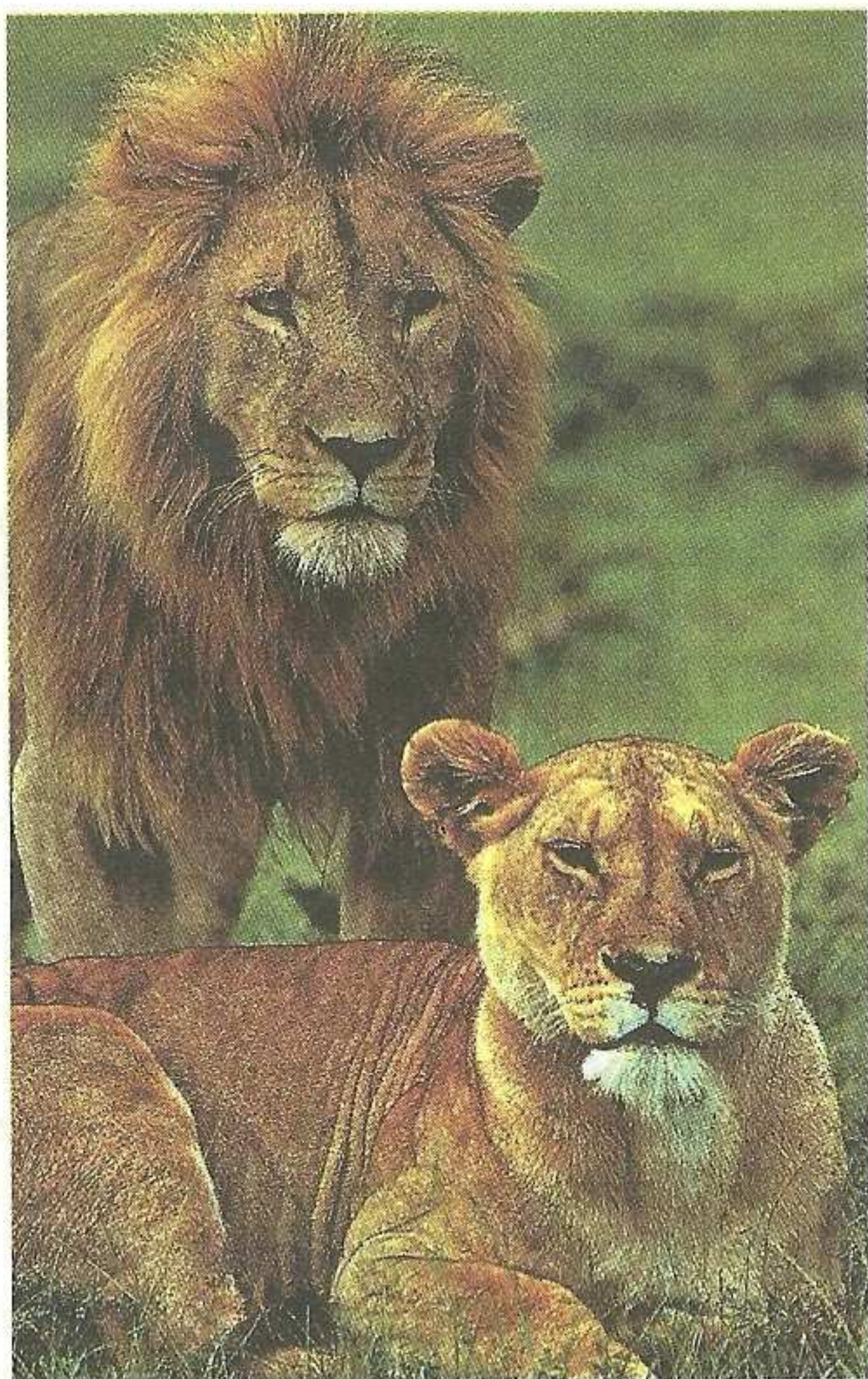


Рис. 56. Половой диморфизм

ность объединять генетическую информацию разных особей, формируя новые сочетания и увеличивая генетическое разнообразие вида, что способствовало его приспособлению в изменяющихся условиях обитания. Кроме того, это позволило распределить функции между особями разного пола. У большинства организмов появился *половой диморфизм* — внешние различия между мужскими и женскими особями (рис. 56).

Значение бесполого и полового размножения. Как бесполое, так и половое размножение обладает рядом достоинств. При половом размножении часто приходится тратить время и энергию на поиски партнера или терять огромное количество гамет, как происходит при перекрестном оплодотворении у растений (сколько пыльцы пропадает впустую!). При бесполом размножении продолжение рода происходит проще и численность особей увеличивается гораздо быстрее, но все дочерние особи одинаковы и являются копией материнского организма.

мениваться половыми клетками друг с другом, осуществляя перекрестное оплодотворение.

У большинства видов покрытосеменных растений в цветке находятся и тычинки, образующие мужские половые клетки — спермии, и пестики, содержащие яйцеклетки.

Однако примерно у четверти видов мужские (тычиночные) и женские (пестичные) цветки развиваются независимо, т. е. формируются однополые цветки. Примерами однополых растений, у которых мужские и женские цветки образуются на разных особях, могут служить облепиха, ива, тополь. У некоторых растений, например у дуба, березы, лещины, и мужские, и женские цветки развиваются на одной особи.

Возникшая в процессе эволюции раздельнополость имела явные преимущества. Появилась возмож-

няя особь развивается как часть материнского организма, а затем или отделяется от него и переходит к самостоятельному существованию (пресноводный полипидра), или, продолжая расти, образует собственные почки, формируя колонию (коралловые полипы). Встречается почкование и у одноклеточных — дрожжевых грибов (рис. 55).

Половое размножение. Половое размножение — это процесс образования дочернего организма при участии половых клеток — *га-*

мет. В большинстве случаев новое поколение возникает в результате слияния двух специализированных половых клеток различных организмов. Гаметы, дающие начало дочернему организму, имеют половинный (гаплоидный) набор хромосом данного вида и образуются в результате особого процесса — *мейоза* (§ 3.6). Как правило, гаметы бывают двух типов — мужские и женские, и формируются они в специальных органах — половых железах.

Новый организм, возникающий в результате слияния гамет, получает наследственную информацию от обоих родителей: 50% от матери и 50% от отца. Будучи похожим на них, он, тем не менее, обладает собственной уникальной комбинацией генетического материала, которая может оказаться очень удачной для выживания в меняющихся условиях окружающей среды.

Виды, у которых есть и мужские, и женские особи, называют *раздельнополыми*; к ним относится большинство животных. Виды, у которых одна и та же особь способна формировать и мужские, и женские гаметы, называют *двуполыми* или *гермафродитными*. К таким организмам относится большинство покрытосеменных растений, кишечнорастворные, плоские и многие кольчатые черви, некоторые ракообразные и моллюски и даже отдельные виды рыб и пресмыкающихся. Гермафродитизм подразумевает возможность самооплодотворения, что бывает очень важно для организмов, ведущих одиночный образ жизни (например, свиной цепень в организме человека). Правда, следует отметить, что, при возможности, гермафродиты предпочитают об-

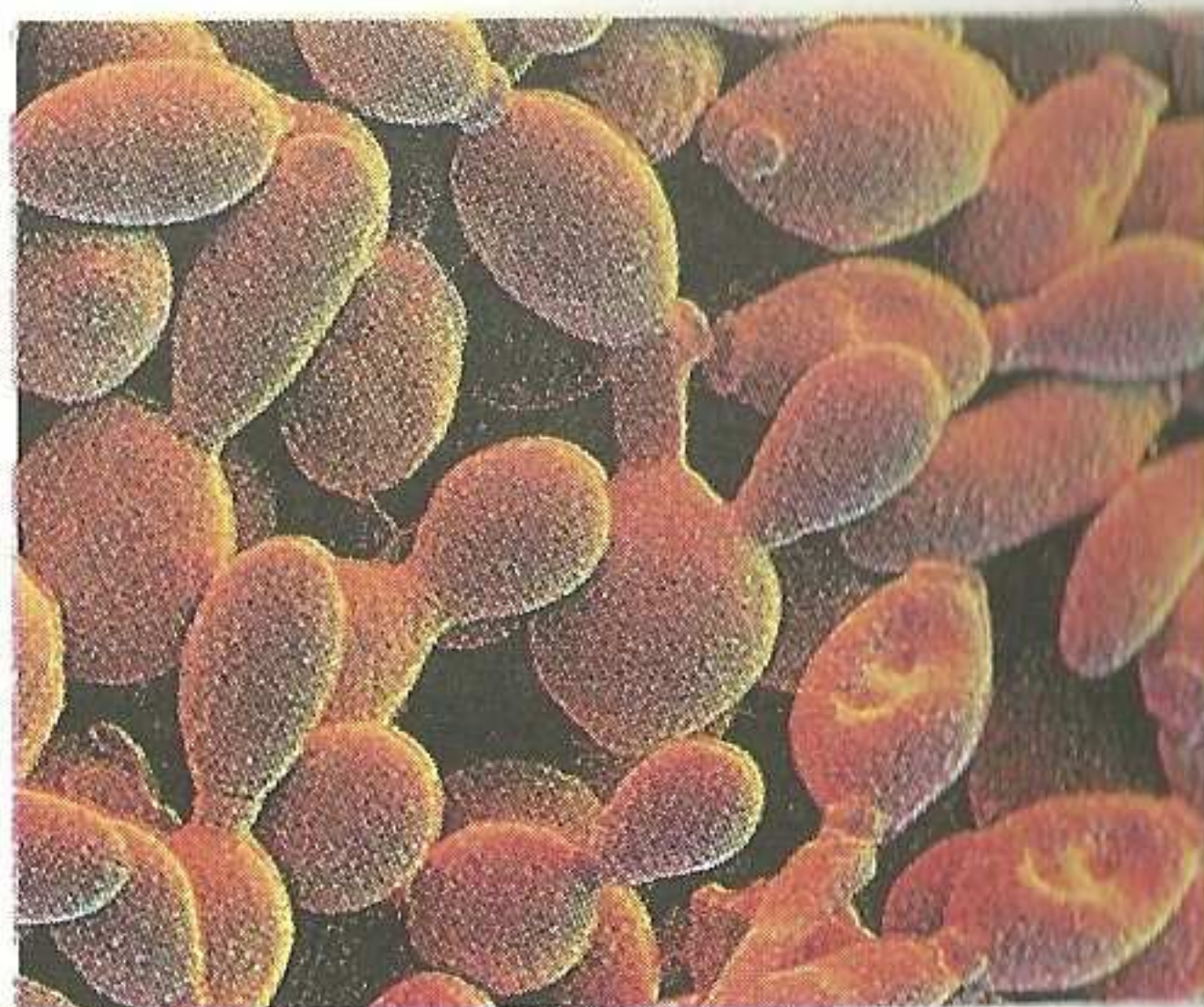


Рис. 55. Почкование дрожжевых грибов

Это может быть преимуществом, если вид обитает в неизменных условиях среды. Но для многих видов, чья окружающая среда изменчива и непостоянна, бесполое размножение не обеспечит выживания. Амеба размножается только бесполым путем, а, к примеру, млекопитающие только половым, и каждого «устраивает» его форма размножения. То, что хорошо в одних условиях, может оказаться неподходящим в другой ситуации, поэтому у многих видов существует чередование разных форм размножения, что позволяет им оптимально решать задачу воспроизведения себе подобных в различных условиях обитания.

Вопросы для повторения и задания

1. Докажите, что размножение — одно из важнейших свойств живой природы.
2. Какие основные типы размножения вам известны?
3. Что такое бесполое размножение? Какой процесс лежит в его основе?
4. Перечислите способы бесполого размножения; приведите примеры.
5. Возможно ли появление генетически разнородного потомства при бесполом размножении?
6. Чем половое размножение отличается от бесполого? Сформулируйте определение полового размножения.
7. Подумайте, какое значение для эволюции жизни на Земле имело появление полового размножения.

3.6. Образование половых клеток. Мейоз

Вспомните!

Где в организме человека происходит образование половых клеток?
Какой набор хромосом содержат гаметы? Почему?

Для осуществления полового размножения необходимы специализированные клетки — *гаметы*, содержащие одинарный (гаплоидный) набор хромосом. При их слиянии (оплодотворении) происходит образование диплоидного набора, в котором каждая хромосома имеет пару — гомологичную хромосому. В каждой паре гомологичных хромосом одна хромосома получена от отца, а вторая — от матери.

Процесс образования половых клеток — *гаметогенез* — протекает в специальных органах. У большинства животных мужские половые

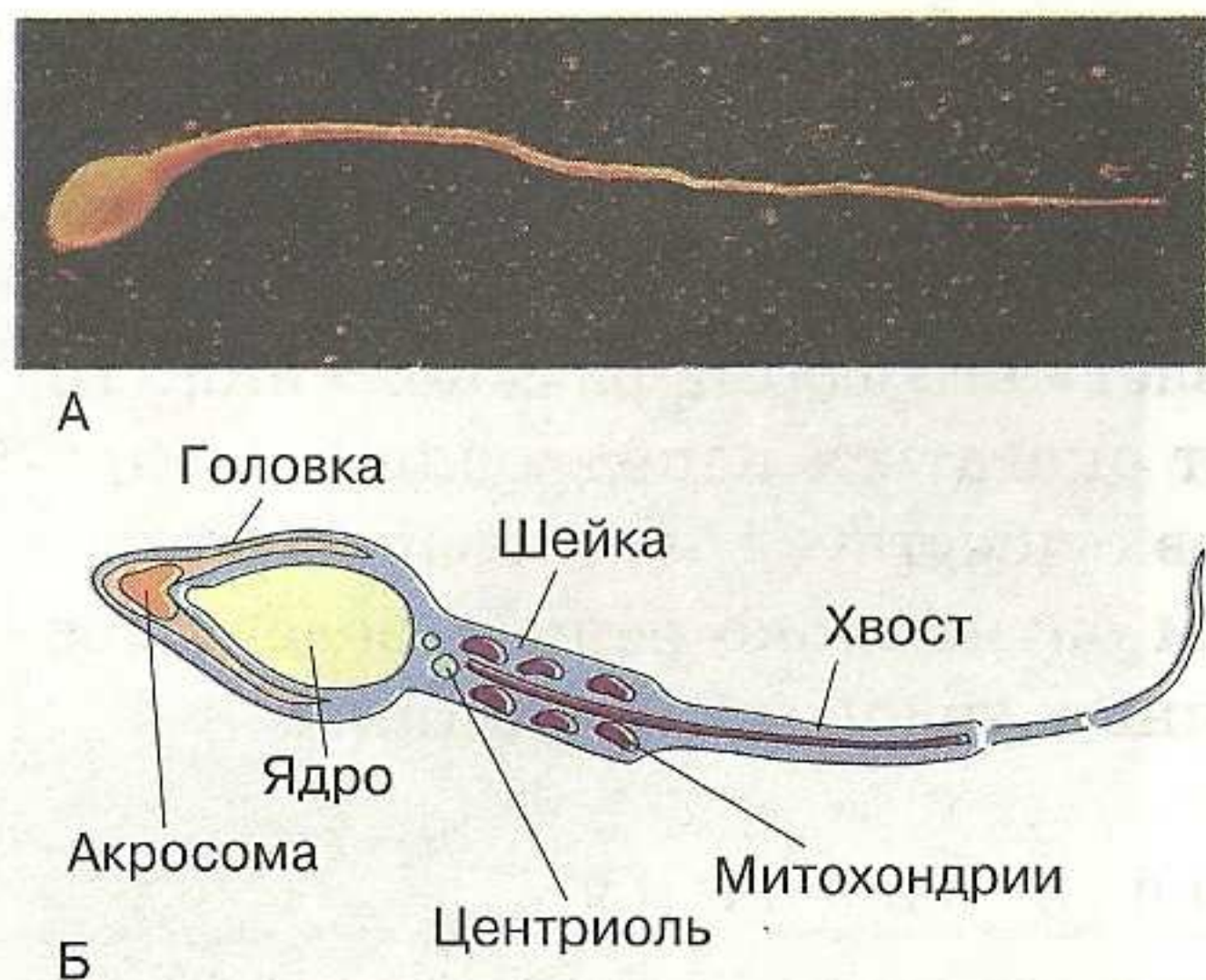


Рис. 57. Сперматозоид млекопитающего: А — электронная фотография; Б — схема строения

0,3 мм) и желтка практически не содержат. *Сперматозоиды* — мелкие подвижные клетки, у человека их длина всего около 60 мкм. У разных организмов они отличаются формой и размерами, но, как правило, все сперматозоиды имеют головку, шейку и хвост, обеспечивающий их подвижность. В головке сперматозоида находится ядро, содержащее хромосомы. В шейке сосредоточены митохондрии, которые обеспечивают сперматозоид энергией (рис. 57). ■

Образование половых клеток. Развитие половых клеток подразделяют на несколько стадий: размножение, рост, созревание, а в процессе сперматогенеза выделяют еще и стадию формирования (рис. 58).

Стадия размножения. На этой стадии клетки, формирующие стенки половых желез, активно делятся митозом, образуя незрелые по-

клетки (сперматозоиды) образуются в семенниках, женские гаметы (яйцеклетки) — в яичниках. Развитие яйцеклеток называют *овогенезом*, а сперматозоидов — *сперматогенезом*.

Строение половых клеток. *Яйцеклетки* — это относительно крупные неподвижные клетки округлой формы. У некоторых рыб, рептилий и птиц они содержат большой запас питательных веществ в виде желтка и имеют размеры от 10 мм до 15 см. Яйцеклетки млекопитающих, в том числе и человека, гораздо мельче (0,1—

0,3 мм) и желтка практически не содержат. *Сперматозоиды* — мелкие подвижные клетки, у человека их длина всего около 60 мкм. У разных организмов они отличаются формой и размерами, но, как правило, все сперматозоиды имеют головку, шейку и хвост, обеспечивающий их подвижность. В головке сперматозоида находится ядро, содержащее хромосомы. В шейке сосредоточены митохондрии, которые обеспечивают сперматозоид энергией (рис. 57). ■

Эта стадия у мужчин начинается с наступлением половой зрелости и продолжается почти всю жизнь. У женщин образование первичных половых клеток завершается еще в эмбриональном периоде, т. е. общее количество яйцеклеток, которые у женщины будут созревать в течение ее репродуктивного периода, определяется уже на ранней стадии разви-

■ Сперматозоиды впервые были описаны голландским естествоиспытателем А. Левенгуком в 1677 г. Он же и ввел этот термин — сперматозоид (от греч. sperma — семя и zoon — живое существо), т. е. живое семя. Яйцеклетка млекопитающих была открыта в 1827 г. российским ученым К. М. Бэр.

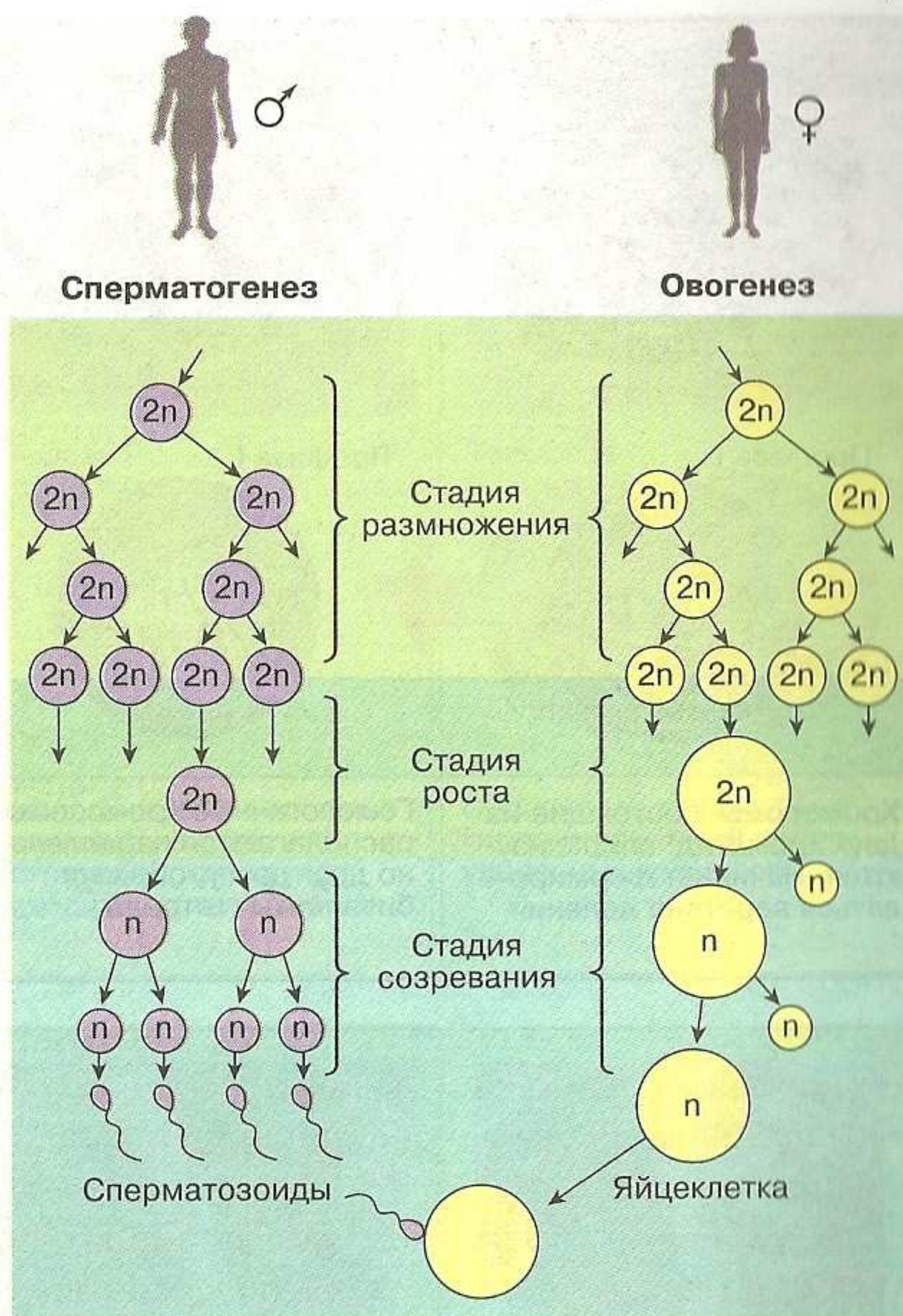
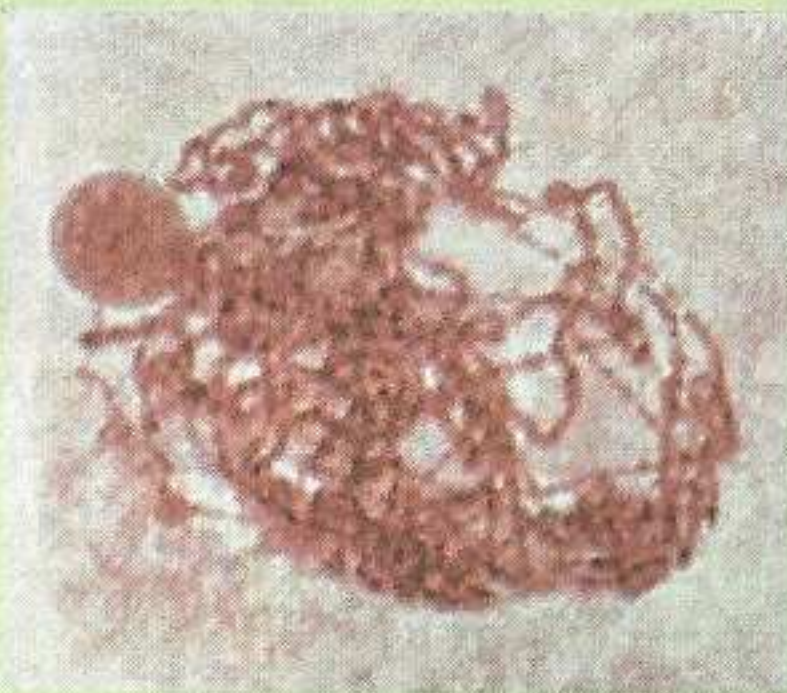
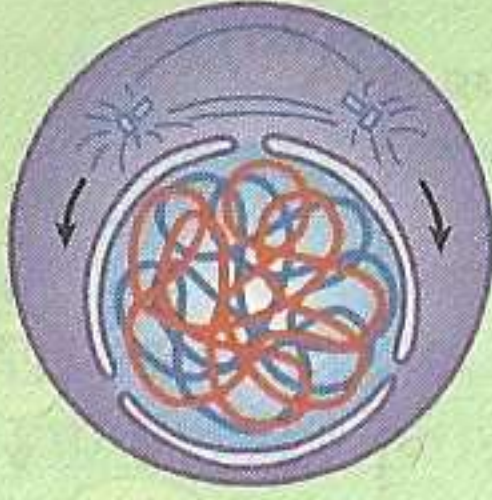
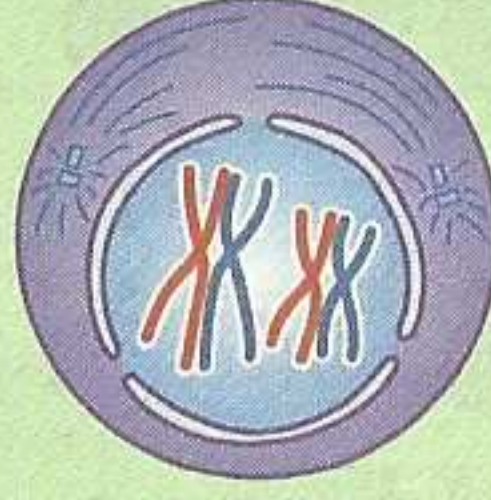
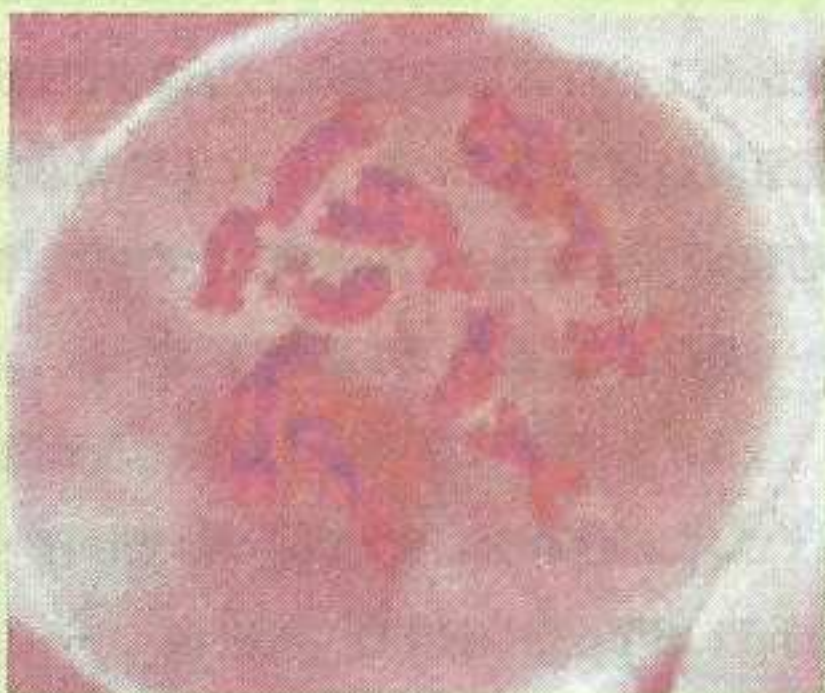
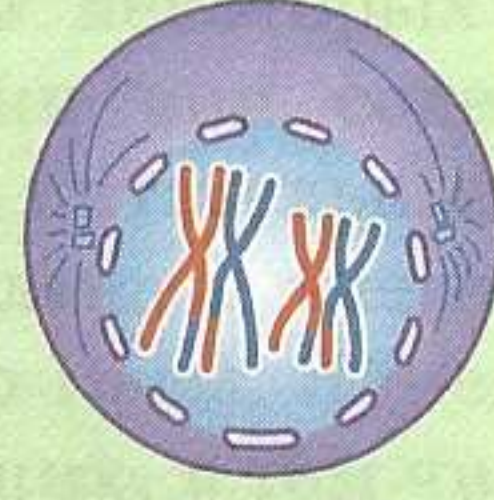
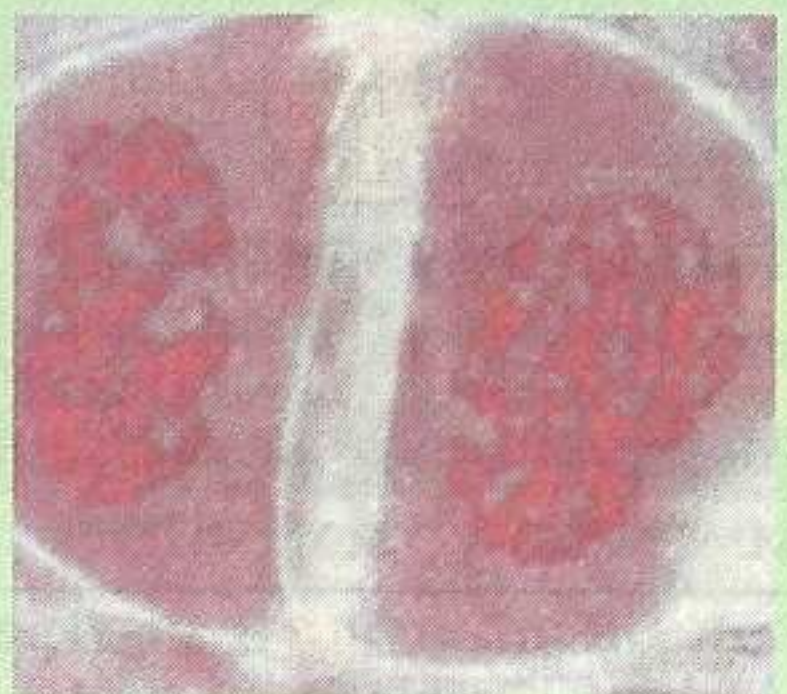
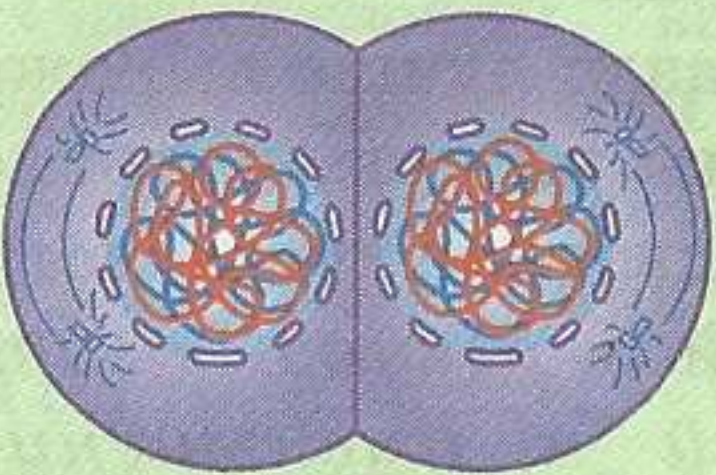
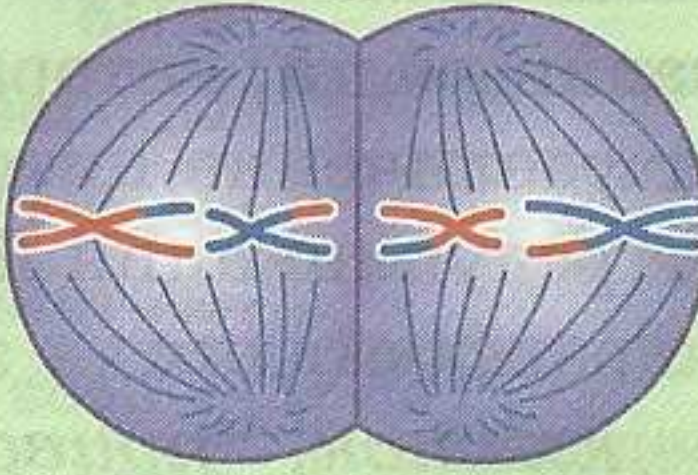
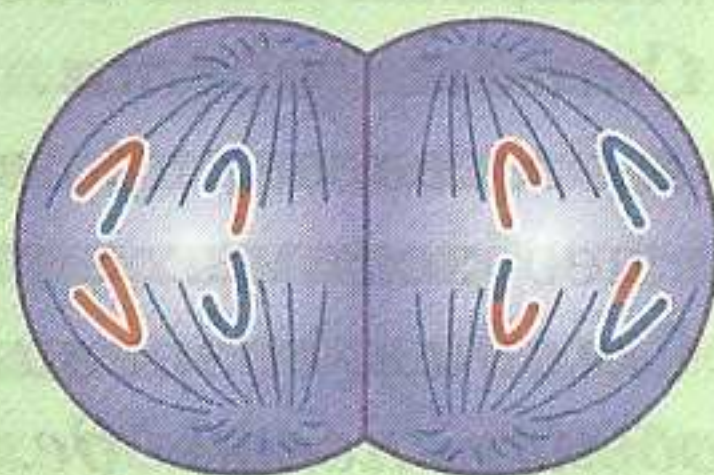


Рис. 58. Гаметогенез у человека

тия женского организма. На стадии размножения первичные половые клетки, как и все остальные клетки тела, диплоидны.

Стадия роста. На стадии роста, которая гораздо лучше выражена в овогенезе, происходит увеличение цитоплазмы клеток, накопление необходимых веществ и редупликация ДНК (удвоение хромосом).

Стадия созревания. Третья стадия — это мейоз. *Мейоз* — это особый способ деления клеток, приводящий к уменьшению числа хромосом вдвое и к переходу клетки из диплоидного состояния в гаплоидное. Клетки, приступающие к мейозу, содержат диплоидный набор уже удвоенных хромосом. В результате мейоза из одной диплоидной клетки образуются четыре гаплоидные.

 Профаза I 	 Профаза I 	 Профаза I 
Хромосомы, состоящие из двух хроматид, спирализуются. Начинает формироваться веретено деления	Гомологичные хромосомы располагаются параллельно друг другу, образуя биваленты (тетрады)	Между гомологичными хромосомами происходит обмен гомологичными участками. Ядерная оболочка разрушается
 Профаза II 	 Метафаза II 	 Анафаза II 
Ядерная оболочка разрушается, начинает формироваться веретено деления	Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости. К центромерам присоединяются нити веретена деления	Центромеры делятся, и сестринские хроматиды расходятся к разным полюсам клетки

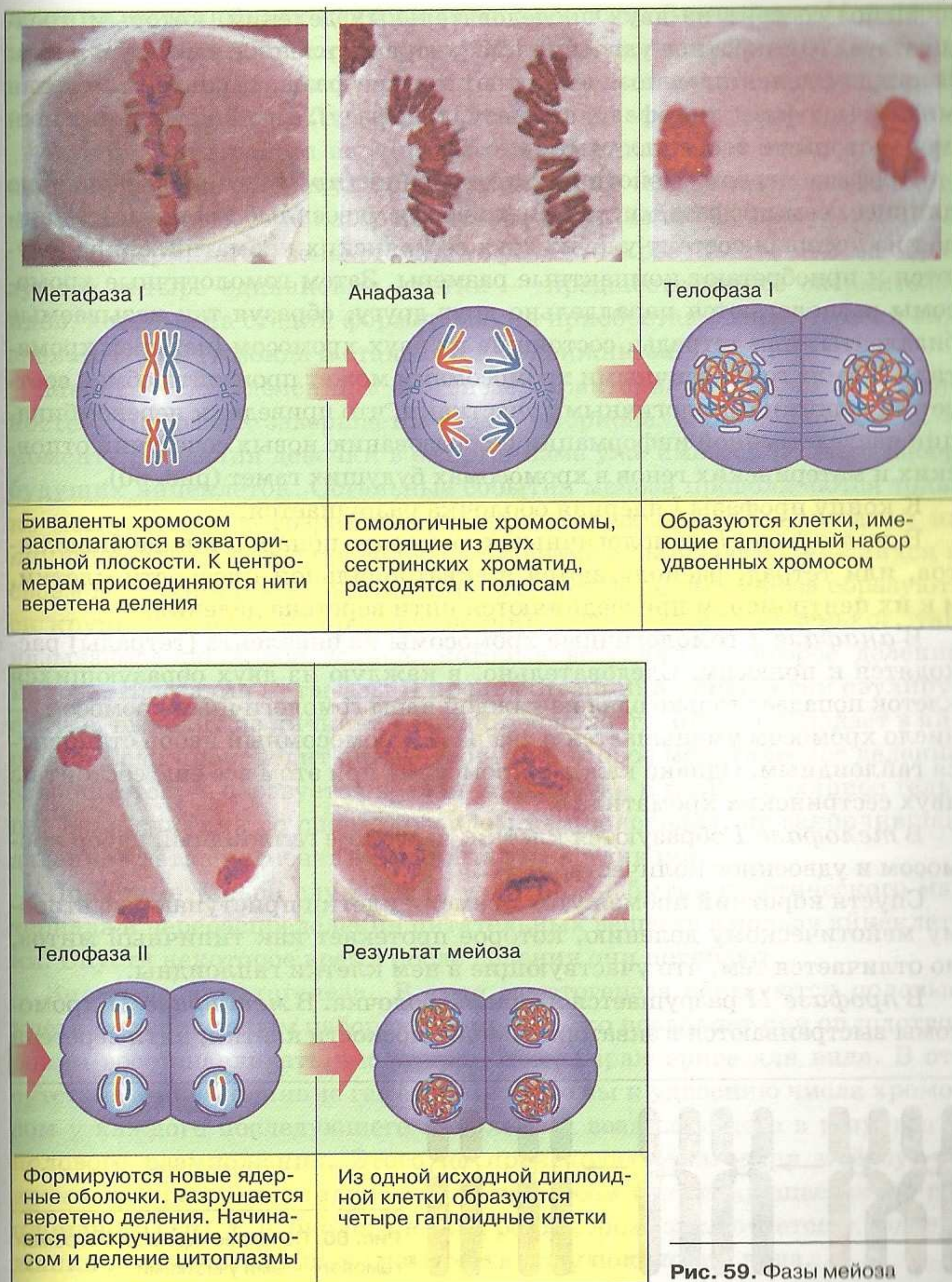


Рис. 59. Фазы мейоза

Мейоз состоит из двух последовательных делений, которым предшествует однократное удвоение ДНК, осуществленное на стадии роста. В каждом делении мейоза выделяют четыре фазы, характерные и для митоза (профазу, метафазу, анафазу, телофазу), однако они отличаются некоторыми особенностями (рис. 59).

Профаза первого мейотического деления (*профаза I*) значительно длиннее, чем профазы митоза. В это время удвоенные хромосомы, каждая из которых состоит уже из двух сестринских хроматид, спирализуются и приобретают компактные размеры. Затем гомологичные хромосомы располагаются параллельно друг другу, образуя так называемые биваленты, или тетрады, состоящие из двух хромосом (четырех хроматид). Между гомологичными хромосомами может произойти обмен соответствующими гомологичными участками, что приведет к рекомбинации наследственной информации и образованию новых сочетаний отцовских и материнских генов в хромосомах будущих гамет (рис. 60).

К концу профазы I ядерная оболочка разрушается.

В *метафазе I* гомологичные хромосомы попарно в виде бивалентов, или тетрад, располагаются в экваториальной плоскости клетки, и к их центромерам присоединяются нити веретена деления.

В *анафазе I* гомологичные хромосомы из бивалента (тетрады) расходятся к полюсам. Следовательно, в каждую из двух образующихся клеток попадает только одна из каждой пары гомологичных хромосом — число хромосом уменьшается в два раза, хромосомный набор становится гаплоидным. Однако каждая хромосома при этом все еще состоит из двух сестринских хроматид.

В *телофазе I* образуются клетки, имеющие гаплоидный набор хромосом и удвоенное количество ДНК.

Спустя короткий промежуток времени клетки приступают ко второму мейотическому делению, которое протекает как типичный митоз, но отличается тем, что участвующие в нем клетки гаплоидны.

В *профазе II* разрушается ядерная оболочка. В *метафазе II* хромосомы выстраиваются в экваториальной плоскости клетки, нити веретена

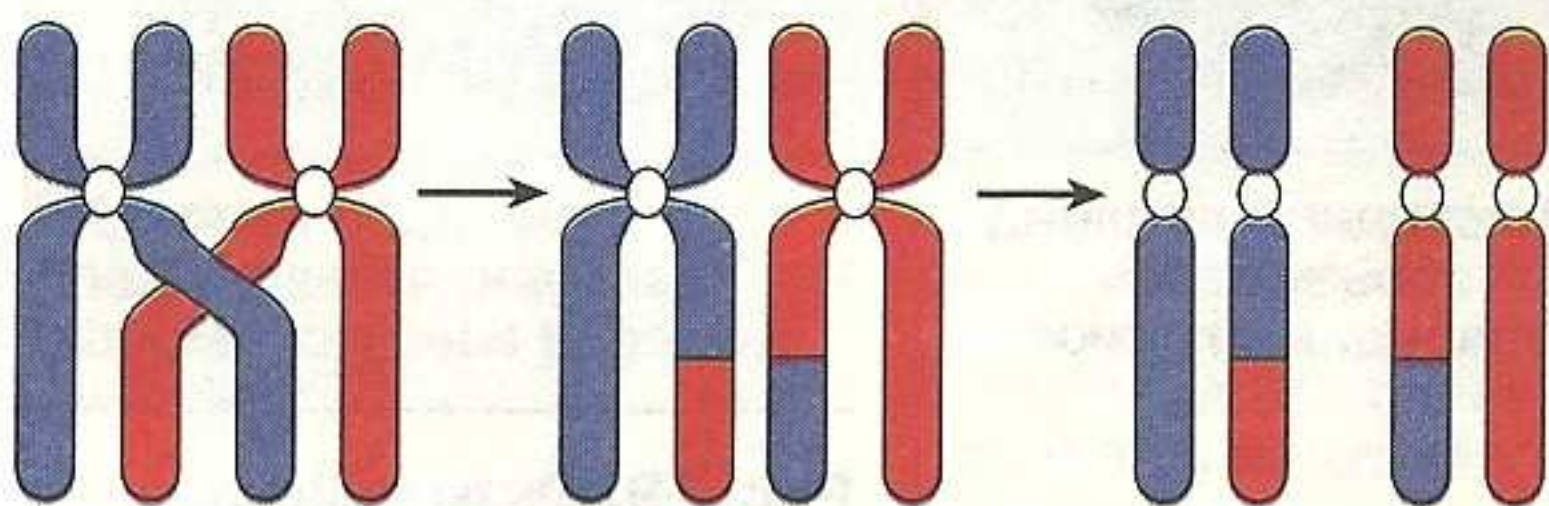


Рис. 60. Перекрест хромосом и обмен гомологичными участками

деления соединяются с центромерами хромосом. В *анафазе II* центромеры, соединяющие сестринские хроматиды, делятся, хроматиды становятся самостоятельными дочерними хромосомами и расходятся к разным полюсам клетки. *Телофаза II* завершает второе деление мейоза.

В результате мейоза из одной исходной диплоидной клетки, содержащей удвоенные молекулы ДНК, образуются четыре гаплоидные клетки, каждая хромосома которых состоит из одиночной молекулы ДНК.

При сперматогенезе на стадии созревания в результате мейоза образуются четыре одинаковые клетки — предшественники сперматозоидов, которые на стадии формирования приобретают характерный вид зрелого сперматозоида и становятся подвижными.

Мейотические деления в овогенезе характеризуются рядом особенностей. Профаза I завершается еще в эмбриональном периоде, т. е. к моменту рождения девочки в ее организме уже имеется полный набор будущих яйцеклеток. Остальные события мейоза продолжаются только после полового созревания женщины. Каждый месяц в одном из яичников у женщины продолжает развитие одна из остановившихся в своем делении клеток. В результате первого деления мейоза образуются крупная клетка — предшественник яйцеклетки и маленькое, так называемое полярное тельце, которые вступают во второе деление мейоза. На стадии метафазы II предшественница яйцеклетки овулирует, т. е. выходит из яичника в брюшную полость, откуда попадает в яйцевод. Если происходит оплодотворение, второе мейотическое деление завершается — образуется зрелая яйцеклетка и второе полярное тельце. Если слияния со сперматозоидом не происходит, не закончившая деление клетка погибает и выводится из организма.

Полярные тельца служат для удаления избытка генетического материала и перераспределения питательных веществ в пользу яйцеклетки. Спустя некоторое время после деления они погибают.

Значение гаметогенеза. В ходе гаметогенеза образуются половые клетки с гаплоидным набором хромосом. Это позволяет при оплодотворении восстанавливать число хромосом, характерное для вида. В отсутствие мейоза слияние гамет приводило бы к удвоению числа хромосом у каждого последующего поколения, возникающего в результате полового размножения. Этого не происходит, благодаря мейозу, во время которого диплоидное число хромосом ($2n$) сокращается до гаплоидного ($1n$), т. е. биологическая роль мейоза заключается в поддержании постоянства числа хромосом в ряду поколений вида.

Вопросы для повторения и задания

1. Опишите строение половых клеток.
2. От чего зависит размер яйцеклеток?
3. Какие периоды выделяют в процессе развития половых клеток?
4. Расскажите, как протекает период созревания (мейоз) в процессе сперматогенеза; овогенеза.
5. Перечислите отличия мейоза от митоза.
6. В чем заключается биологический смысл и значение мейоза?

3.7. Оплодотворение

Вспомните!

Какой набор хромосом имеет зигота?

Для каких животных характерно наружное оплодотворение?

У каких организмов существует двойное оплодотворение?

Для осуществления полового размножения организму недостаточно просто сформировать половые клетки — гаметы, надо обеспечить возможность их встречи. *Процесс слияния сперматозоида и яйцеклетки, сопровождающийся объединением их генетического материала, называют оплодотворением.* В результате оплодотворения образуется диплоидная клетка — *зигота*, активация и дальнейшее развитие которой приводит к формированию нового организма. При слиянии половых клеток разных особей осуществляется *перекрестное оплодотворение*, а при объединении гамет, продуцируемых одним организмом, — *самооплодотворение*.

Существует два основных типа оплодотворения — наружное (внешнее) и внутреннее.

Наружное оплодотворение. При наружном оплодотворении половые клетки сливаются вне организма самки. Например, рыбы мечут икру (яйцеклетки) и молоку (сперму) прямо в воду, где происходит наружное оплодотворение. Подобным образом осуществляется размножение у земноводных, многих моллюсков и некоторых червей. При наружном оплодотворении встреча яйцеклетки и сперматозоида зависит от самых разных факторов внешней среды, поэтому при таком типе оплодотворения организмы обычно образуют огромное количество половых клеток. Например, озерная лягушка откладывает до 11 тыс. яиц,

атлантическая сельдь выметывает около 200 тыс. икринок, а рыба-луна — почти 30 млн.

Внутреннее оплодотворение. При внутреннем оплодотворении встреча гамет и их слияние происходит в половых путях самки. Благодаря согласованному поведению самца и самки и наличию специальных совокупительных органов мужские половые клетки поступают непосредственно в женский организм. Так происходит оплодотворение у всех наземных и некоторых водных животных. В этом случае вероятность успешного оплодотворения высока, поэтому половых клеток у таких особей гораздо меньше.

Количество половых клеток, которые образует организм, зависит также от степени заботы родителей о потомстве. Например, треска выметывает 10 млн икринок и никогда не возвращается к месту кладки, африканская рыбка тилapia, вынашивающая икру во рту, — не более 100 икринок, а млекопитающие, обладающие сложным родительским поведением, обеспечивающим заботу о потомстве, рожают всего одного или нескольких детенышей.

У человека, как и у всех остальных млекопитающих, оплодотворение происходит в яйцеводах, по которым яйцеклетка движется по направлению к матке. Сперматозоиды преодолевают огромное расстояние до встречи с яйцеклеткой, и лишь один из них проникает в яйцеклетку. После проникновения сперматозоида яйцеклетка формирует на поверхности толстую оболочку, непроницаемую для остальных сперматозоидов.

Если оплодотворение произошло, яйцеклетка завершает свое мейотическое деление (§ 3.6) и два гаплоидных ядра сливаются в зиготе, объединяя генетический материал отцовского и материнского организмов. Образуется уникальная комбинация генетического материала нового организма. ■

■ Яйцеклетки большинства млекопитающих сохраняют способность к оплодотворению в течение ограниченного времени после овуляции, как правило, не более 24 часов. Сперматозоиды, покинувшие мужскую половую систему, живут тоже очень недолго. Так, у большинства рыб сперматозоиды погибают в воде уже спустя 1—2 минуты, в половых путях кролика живут до 30 часов, у лошадей 5—6 суток, а у птиц до 3 недель. Сперматозоиды человека во влагалище женщины гибнут спустя 2,5 часа, но те, которые успевают добраться до матки, сохраняют жизнеспособность в течение двух и более суток. Существуют в природе и исключительные случаи, например сперматозоиды пчел сохраняют способность к оплодотворению в семяприемнике самок в течение нескольких лет.

■ У некоторых видов организмов встречается особая форма полового размножения — без оплодотворения. Такое развитие называют *партеногенезом* (от греч. *partenos* — девственница, *genesis* — возникновение), или девственным развитием. В этом случае дочерний организм развивается из неоплодотворенной яйцеклетки на основе генетического материала одного из родителей, и образуются особи только одного пола. Естественный партеногенез дает возможность резкого увеличения численности потомства и существует в тех популяциях, где контакт разнополых особей затруднен. Партеногенез встречается у животных разных систематических групп: у пчел, тлей, низших ракообразных, скальных ящериц и даже у некоторых птиц (индеек).

Оплодотворенная яйцеклетка может развиваться в теле материнского организма, как это происходит у плацентарных млекопитающих, или во внешней среде, как у птиц и пресмыкающихся. Во втором случае она покрывается специальными защитными оболочками (яйца птиц и пресмыкающихся). ■

Одним из главных механизмов, который обеспечивает оплодотворение строго внутри вида, является соответствие числа и строения хромосом женских и мужских гамет, а также химическое сродство цитоплазмы яйцеклетки и ядра сперматозоида. Даже если чужеродные половые клетки и соединяются при оплодотворении, это, как правило, приводит к ненормальному развитию зародыша или к рождению стерильных гибридов, т. е. особей, не способных к деторождению.

Двойное оплодотворение. Особый тип оплодотворения характерен для цветковых растений. Он был открыт в конце XIX в. русским ученым Сергеем Гавриловичем Навашиным и получил название *двойного оплодотворения* (рис. 61). Во время опыления пыльца попадает на рыльце пестика. Клетка пыльцевого зерна делится, образуя два неподвижных спермия и специальную клетку, которая, прорастая внутрь пестика, формирует пыльцевую трубку. В завязи пестика развивается зародышевый мешок с восемью гаплоидными ядрами. Два из них сливаются, формируя центральное диплоидное ядро. В результате дальнейшего деления цитоплазмы зародышевого мешка образуется семь клеток: яйцеклетка, центральная диплоидная клетка и пять вспомогательных.

После того как пыльцевая трубка прорастает в основание пестика, спермии, находящиеся внутри нее, проникают в зародышевый мешок. Один спермий оплодотворяет яйцеклетку, — возникает диплоидная зигота; из нее в дальнейшем развивается зародыш. Другой спермий

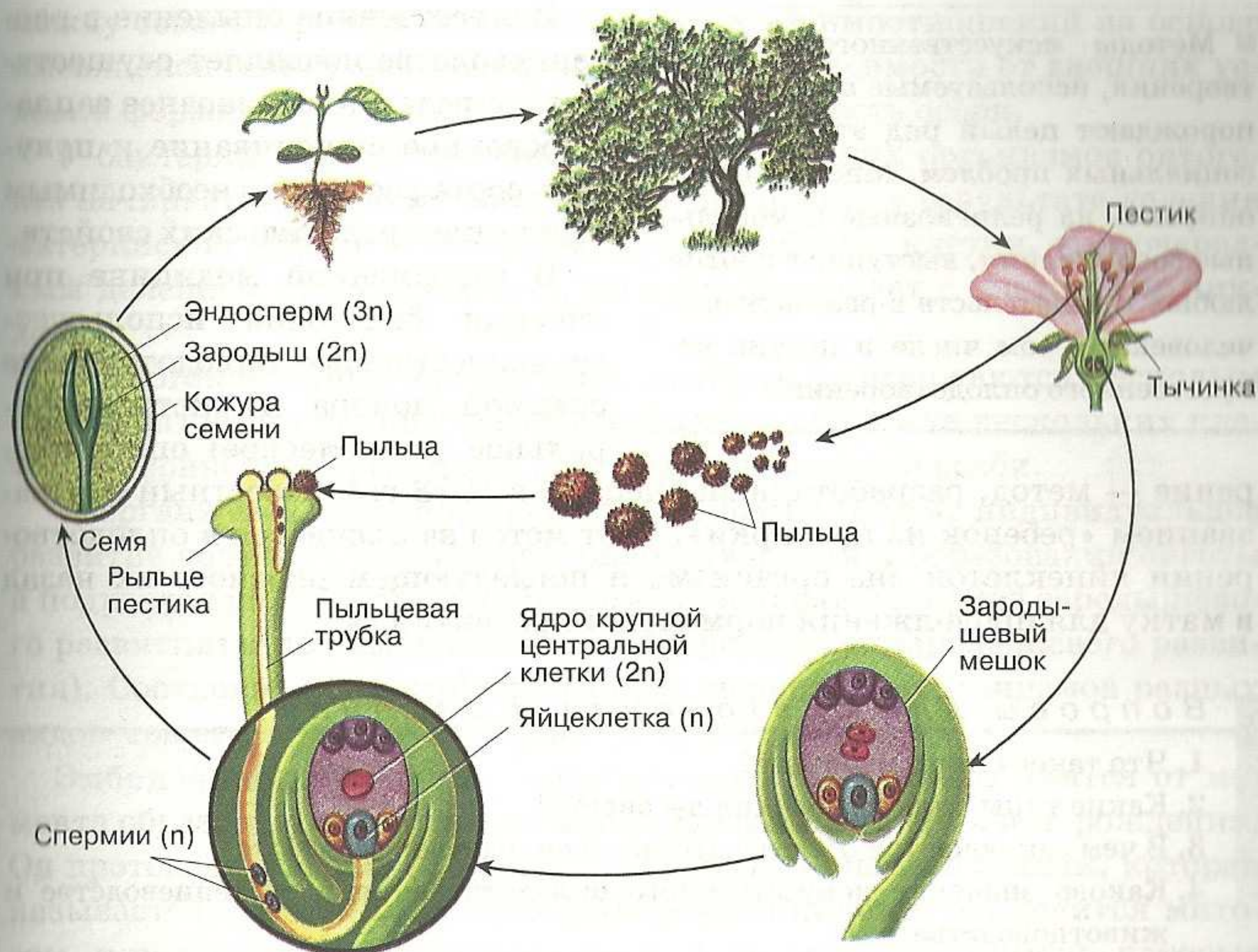


Рис. 61. Двойное оплодотворение у цветковых растений

сливается с ядром крупной центральной диплоидной клетки, образуя клетку с тройным хромосомным набором (триплоидную), из которой затем формируется эндосперм — питательная ткань для зародыша. Таким образом, у покрытосеменных растений в оплодотворении участвует два спермия, т. е. осуществляется двойное оплодотворение.

Искусственное оплодотворение. Большое значение в современном сельском хозяйстве имеет искусственное оплодотворение, прием, который широко применяется в селекции при выведении и улучшении пород животных и сортов растений. В животноводстве при помощи искусственного осеменения можно получить многочисленное потомство от одного выдающегося производителя. Сперма таких животных хранится в специальных низкотемпературных условиях и сохраняет жизнеспособность в течение долгого времени (десятки лет).

■ Методы искусственного оплодотворения, используемые в медицине, порождают целый ряд этических и социальных проблем. Многие люди, опираясь на религиозные и моральные соображения, выступают против любых вмешательств в размножение человека, в том числе и против искусственного оплодотворения.

Искусственное опыление в растениеводстве позволяет осуществлять определенное, заранее запланированное скрещивание и получать сорта растений с необходимым сочетанием родительских свойств.

В современной медицине при лечении бесплодия используется искусственное оплодотворение спермой донора и экстракорпоральное (внетелесное) оплодотво-

рение — метод, разработанный впервые в 1978 г. и известный под названием «ребенок из пробирки». Этот метод заключается в оплодотворении яйцеклеток вне организма и последующем переносе их назад в матку для продолжения нормального развития. ■

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое оплодотворение?
2. Какие типы оплодотворения вы знаете?
3. В чем заключается процесс двойного оплодотворения?
4. Каково значение искусственного оплодотворения в растениеводстве и животноводстве?

3.8. Индивидуальное развитие организмов

Вспомните!

Из каких периодов складывается индивидуальное развитие организма?
 Что такое развитие с метаморфозом?
 Для каких организмов характерен такой тип развития?

Индивидуальное развитие особи, всю совокупность ее преобразований от возникновения до конца жизни называют онтогенезом. Согласно современным научным представлениям в клетке, с которой начинается онтогенез особи, заложена определенная программа дальнейшего развития организма. В процессе онтогенеза эта наследственная программа реализуется путем взаимодействия ядра и цитоплазмы каждой клетки, отдельных клеток друг с другом и тканей

между собой. В результате этих сложных взаимоотношений на основе имеющейся генетической информации и в зависимости от внешних условий формируется конкретная индивидуальность особи.

У бактерий и одноклеточных эукариотических организмов онтогенез начинается в момент образования организма в результате деления материнской клетки и завершается или гибелью клетки, или очередным делением организма, т. е., по сути, совпадает с клеточным циклом.

У многоклеточных организмов, которые размножаются бесполом путем, онтогенез начинается с обособления одной или нескольких клеток материнского организма, дающих начало новой особи.

У организмов, размножающихся половым путем, индивидуальное развитие начинается с момента оплодотворения и образования зиготы и подразделяется на два периода: эмбриональный (период зародышевого развития) и постэмбриональный (период послезародышевого развития). Соотношение длительности этих периодов у организмов разных видов может сильно отличаться.

Эмбриональный период (эмбриогенез). Этот период длится от момента образования зиготы до выхода зародыша из яйца или рождения. Он протекает в несколько этапов (рис. 62). На первой стадии, которая называется *дроблением*, оплодотворенная яйцеклетка делится митозом, в результате чего получается 2, 4, 8, 16 и т. д. клеток, которые плотно прилегают друг к другу. Интерфаза между делениями очень короткая, клетки не растут, поэтому процесс дробления происходит очень быстро. Заканчивается дробление образованием *бластулы* — полового шарика, стенка которого состоит из одного слоя клеток. Далее на одном из полюсов бластулы клетки начинают делиться более активно и углубляются внутрь шарообразного зародыша, образуя впячивание. В результате этого процесса формируется двухслойный зародыш — *гастрола*. Два слоя клеток, образующих ее стенки, называются *зародышевыми листками*: наружный листок — *эктодерма* и внутренний — *энтодерма*.

У всех животных, кроме губок и кишечнополостных, при дальнейшем развитии зародыша между эктодермой и энтодермой образуется третий зародышевый листок — *мезодерма*.

Дальнейшее развитие зародыша связано с взаимодействием трех зародышевых листков, из которых формируются все ткани и органы организма. Развитие систем органов зародыша — *органогенез* — проис-

постепенно сближаются, а затем смыкаются, формируя первичную нервную трубку.

Кроме нервной системы из эктодермы возникают также кожные железы, эмаль зубов, волосы, ногти, кожный эпителий. Энтодерма дает начало тканям, выстилающим кишечник и дыхательные пути, образует печень и поджелудочную железу. Из мезодермы образуются мышцы, хрящевой и костный скелет, органы выделительной, половой и кровеносной систем организма.

В процессе эмбриогенеза между частями развивающегося зародыша существует тесное взаимодействие: зачаток одного органа или системы органов определяет (индуцирует) местоположение и время образования другого органа или системы органов. ■

Дифференцировка клеток зародыша возникает не сразу, а на определенном этапе развития. На ранних стадиях дробления клетки зародыша еще не специализированы, поэтому каждая из них может дать начало целому организму. Если по какой-либо причине эти клетки разъединяются, образуются два одинаковых эмбриона, содержащих идентичную генетическую информацию, каждый из которых развивается в полноценную особь. В итоге рождаются однояйцевые, или монозиготные близнецы. В человеческой популяции — это единственные люди, имеющие идентичный генотип и являющиеся копиями друг друга. ■

■ Взаимовлияние частей зародыша было продемонстрировано в многочисленных экспериментах. Немецкие исследователи Ханс Шпеман и Хилд Мангольд брали у зародыша тритона на стадии ранней гаструлы участок спинной стороны тела, из которого в дальнейшем должна была развиваться хорда и мезодерма, и пересаживали его на брюшную сторону другой гаструлы. В результате на брюшной стороне второго зародыша из клеток, которые должны были дать начало кожным покровам, формировалась дополнительная нервная трубка. Это явление получило название *эмбриональной индукции*.

■ У некоторых животных зародыш на ранней стадии развития делится на несколько фрагментов. При этом каждый из образовавшихся фрагментов дает начало полноценному организму. В результате все детеныши одного поколения оказываются абсолютными копиями друг друга. Такой тип размножения характерен для броненосцев. Поэтому в помете девятипоясного броненосца тату всегда четное количество однополых детенышей.

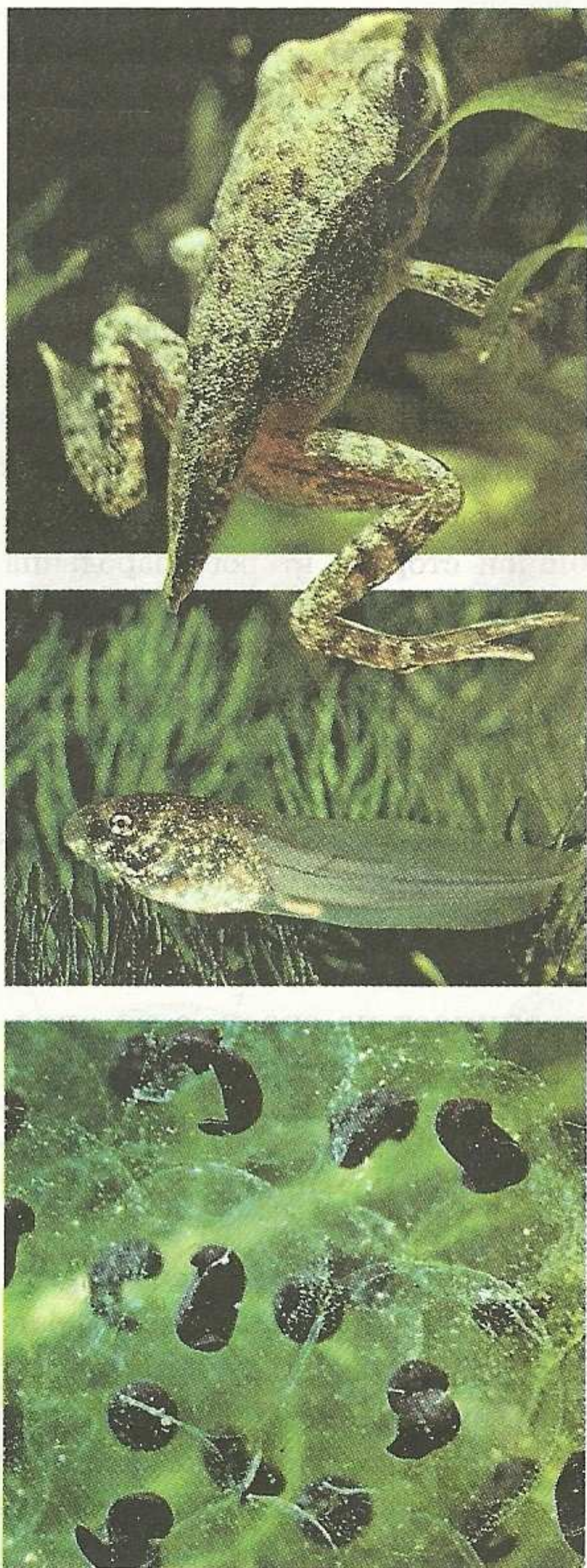


Рис. 63. Последовательные стадии метаморфоза у лягушки (снизу вверх): головастики в икринках, начало метаморфоза, лягушонок с остатками хвоста

Постэмбриональный период. Этот период начинается с момента рождения организма и заканчивается его смертью.

Различают непрямой и прямой типы постэмбрионального развития.

Непрямое развитие. Непрямой, или личиночный, тип развития характерен для многих беспозвоночных и некоторых позвоночных животных (рыб и земноводных). Это предполагает рождение особи, порой совершенно непохожей на взрослый организм. В процессе непрямого развития особь проходит через одну или несколько личиночных стадий (головастик у лягушки, гусеница у бабочки) (рис. 63). Личинки ведут самостоятельную жизнь, активно питаются, растут и развиваются. По истечении определенного времени личинка превращается во взрослую особь — происходит *метаморфоз*, поэтому иногда этот тип развития называют *развитием с метаморфозом*. При метаморфозе разрушаются личиночные органы и возникают органы, присущие взрослым животным.

Для многих видов наличие личиночной стадии в процессе развития — это возможность расселения и отсутствие конкуренции особей разного возраста за место обитания и пищу.

Прямое развитие. Такой тип развития характерен для организмов, детеныши которых рождаются уже похожими на взрослых особей. Только что вылупившийся утенок, родив-

шийся щенок или ребенок человека отличается от взрослого меньшими размерами, несколько иными пропорциями тела и недоразвитием некоторых систем органов, например половой. Прямое развитие бывает яйцекладное или внутриутробное.

Неличиночный, или яйцекладный, тип развития характерен для пресмыкающихся, птиц, яйцекладущих млекопитающих и ряда беспозвоночных. Яйца этих организмов богаты питательными веществами (желтком), и зародыш может длительное время развиваться внутри яйца.

Внутриутробный тип развития характерен для всех высших млекопитающих, в том числе и человека. Все жизненные функции зародыша при этом типе развития осуществляются посредством взаимодействия с материнским организмом через специальный орган — плаценту.

Зародышевое развитие заканчивается процессом рождения. После рождения обычно наблюдается активный рост организма, т. е. увеличение его размеров и массы. Большинство животных, взрослея, растут все медленнее и, достигнув определенного возраста, расти перестают. Такой тип роста называется *определенным*. При *неопределенном* типе роста организмы растут всю жизнь, как, например, моллюски, рыбы и земноводные. После завершения активного роста организм вступает в стадию зрелости, которая связана с деторождением. Заканчивается процесс индивидуального развития старением и смертью.

Вопросы для повторения и задания

1. Что называют индивидуальным развитием организма?
2. Перечислите периоды онтогенеза.
3. Какое развитие называют эмбриональным, а какое — постэмбриональным?
4. Какие существуют типы постэмбрионального развития организма? Приведите примеры.
5. В чем заключается биологическое значение метаморфоза?
6. Расскажите о зародышевых листках.
7. Что такое дифференцировка клеток? Как она осуществляется в процессе эмбрионального развития?
8. Охарактеризуйте понятие «рост». Что такое определенный рост? Неопределенный рост?

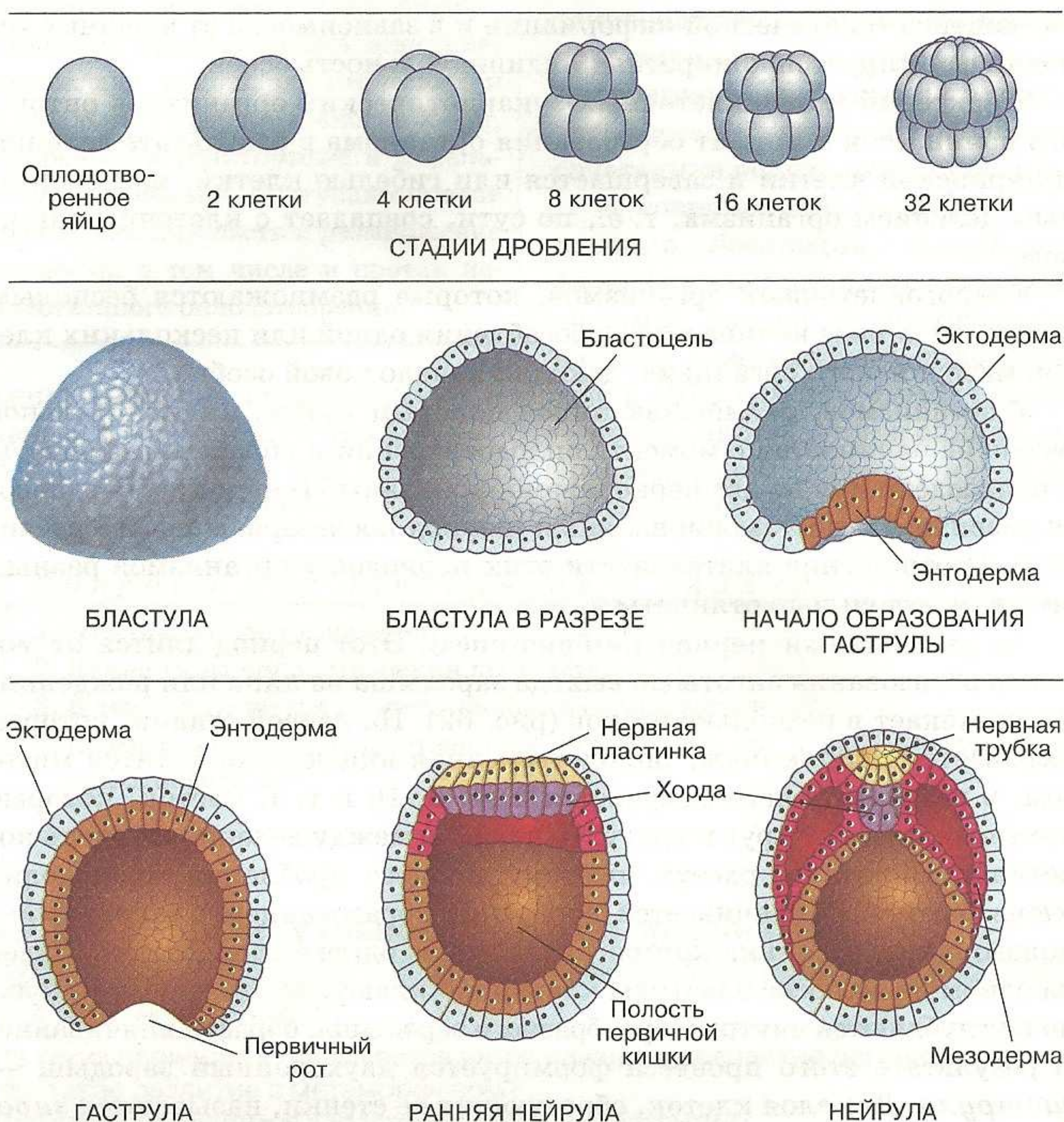


Рис. 62. Дробление оплодотворенного яйца ланцетника и образование зародышевых листков

ходит в определенной последовательности. У хордовых животных он начинается с образования зачатка хорды и нервной системы. На спинной стороне зародыша происходит обособление группы клеток эктодермы в виде длинной пластинки. Эти клетки начинают активно делиться, погружаясь в тело зародыша и образуя желобок, края которого

3.9. Онтогенез человека. Репродуктивное здоровье

Вспомните!

Какой тип развития характерен для человека?

Что такое плацента?

Как образ жизни матери во время беременности влияет на здоровье будущего ребенка?

Эмбриональное развитие. Индивидуальное развитие человека, как и всех других организмов, размножающихся половым путем, начинается с момента оплодотворения и заканчивается смертью. Зная из материала предыдущих параграфов общие принципы размножения и развития организмов, давайте рассмотрим особенности онтогенеза, характерные для человека.

Процесс эмбрионального развития человека длится около 280 суток и подразделяется на три периода: начальный (1-я неделя), зародышевый (2—8-я недели) и плодный (с 9-й недели до рождения). Во время одного полового акта в организм женщины попадает более 200 млн сперматозоидов. Такое огромное количество мужских половых клеток

■ Одной из причин бесплодия у человека является так называемая олигоспермия — малое количество сперматозоидов в семенной жидкости. В современном мире существует масса причин, которые могут привести к подобному нарушению. Стресс и ожирение, инфекции половых органов и гормональные нарушения снижают образование сперматозоидов. Антидепрессанты, марихуана и другие наркотики, неумеренное употребление алкоголя уменьшает количество мужских половых гормонов и спермы. Влияет на численность сперматозоидов и резко снижает их подвижность курение.

необходимо, во-первых, чтобы повысить вероятность оплодотворения, а во-вторых, чтобы сформировать особую химическую среду, способствующую успешному слиянию гамет. Соединение яйцеклетки и сперматозоида, т. е. процесс оплодотворения, у человека происходит в яйцеводах, куда добирается только несколько тысяч сперматозоидов из всей массы. ■

После оплодотворения к концу первых суток начинается дробление зиготы (рис. 64). Зародыш в это время продвигается по яйцеводу в направлении к матке. Через 30 часов после оплодотворения зародыш состоит уже из двух клеток, через 40 часов — из четырех.

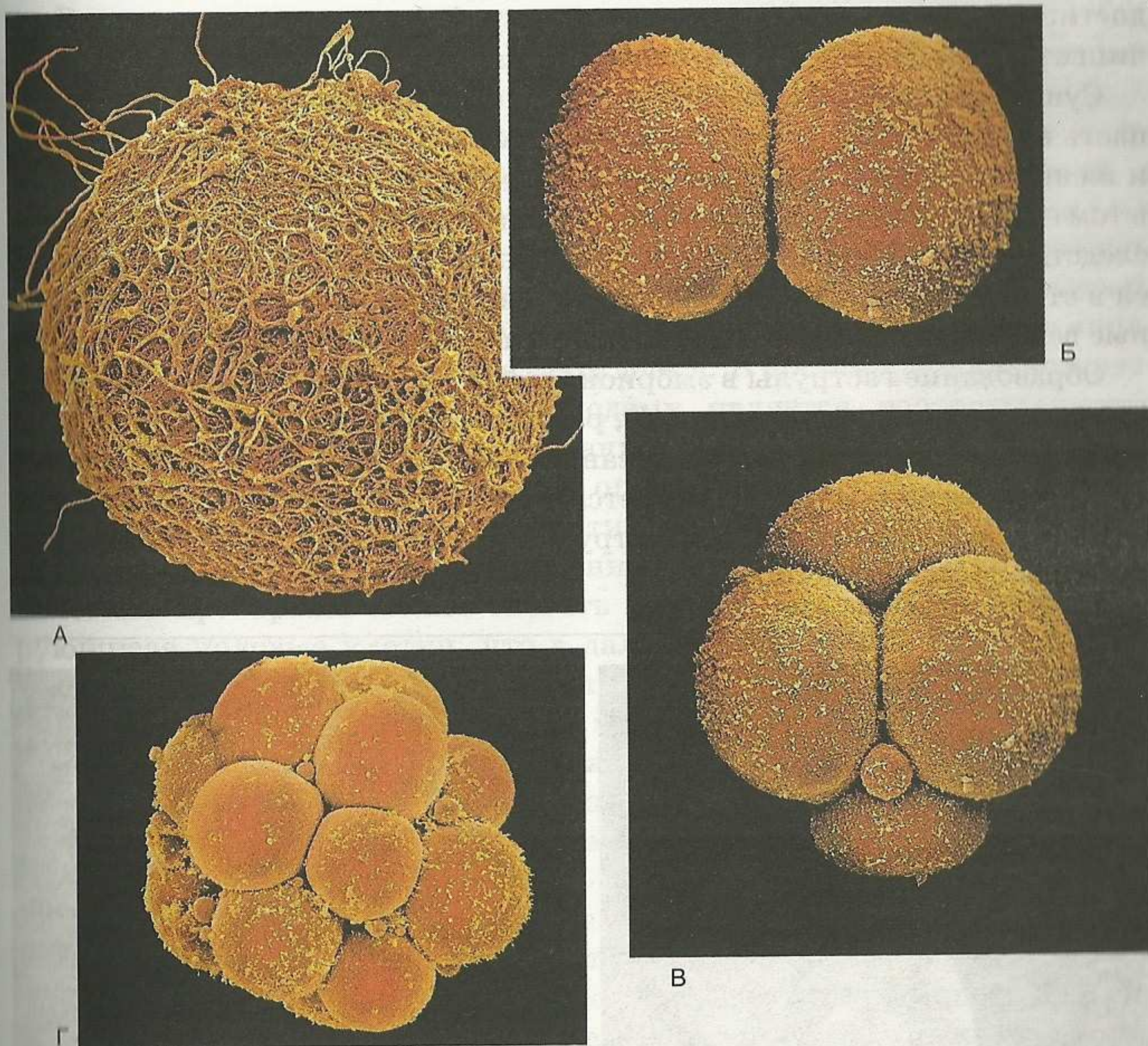


Рис. 64. Начальный этап эмбрионального развития человека: А — яйцеклетка, окруженная многочисленными сперматозоидами; Б, В, Г — последовательные стадии дробления зиготы

В результате многократных делений формируется плотный шар, состоящий из клеток двух типов: внутри располагаются более темные, медленно делящиеся клетки, снаружи — более светлые. Образование этих двух типов клеток — первый этап дифференцировки клеток в развивающемся зародыше. Из темных клеток впоследствии будет сформировано тело самого зародыша, из светлых — специальные органы, обеспечивающие связь зародыша с материнским организмом.

На 4-е сутки зародыш человека превращается в бластулу, полый пузырек, заполненный жидкостью. На 5—6-е сутки бластула, наконец,

достигает матки и внедряется в ее стенку. С этого момента зародыш начинает получать кислород и питательные вещества из крови матери.

Существует множество причин, из-за которых зародыш может не попасть в матку. Иногда он погибает на самых ранних стадиях дробления, и женщина даже не замечает своей беременности. Это может произойти в том случае, если при оплодотворении зигота получит неполноценный наследственный материал. Иногда зародыш, не доходя до матки, внедряется в стенку яйцевода и какое-то время даже растет, потребляя питательные вещества этого органа и разрушая его (внематочная беременность).

Образование гаструлы в эмбриональном развитии человека протекает несколько иначе, чем вариант, разобранный нами в предыдущем параграфе, но сущность — образование трехслойного зародыша — остается неизменной. Затем начинается процесс органогенеза, закладывается хорда, позднее — нервная трубка и в дальнейшем все остальные системы органов (рис. 65).



Рис. 65. Эмбрион человека

В онтогенезе человека существуют периоды, когда развивающийся организм наиболее подвержен действию различных вредных факторов (химических препаратов, различного рода излучений, стрессов и др.). Во время эмбрионального этапа развития такими критическими периодами являются момент оплодотворения, имплантация зародыша в стенку матки (7—8-е сутки развития), смыкание нервной трубки (4-я неделя развития), закладка основных органов и формирование плаценты (3—8-я недели), усиленный рост головного мозга и дифференцировка нервной ткани (15—22-я недели), дифференцировка полового аппарата (20—24-я недели) и момент рождения. В постэмбриональном развитии наиболее уязвимыми периодами является новорожденность (возраст до 1 года) и половое созревание (11—16 лет).

Особым критическим периодом, определяющим здоровье будущего поколения, является период развития половых клеток — овогенез и сперматогенез. Курение, употребление алкогольных напитков, наркотических препаратов может оказать необратимое влияние на формирующиеся половые клетки, что в дальнейшем приведет к рождению ребенка с врожденными уродствами или бесплодию.

Влияние никотина, алкоголя и наркотических веществ на развитие зародыша человека. На протяжении всего времени внутриутробного развития плод, напрямую связанный с организмом матери через уникальный орган — плаценту, находится в постоянной зависимости от состояния здоровья матери.

В последнее время ведется много споров на тему, влияет ли курение на неродившегося ребенка. Известно, что никотин, попадающий в кровь матери, легко проникает сквозь плаценту в кровеносную систему плода и вызывает сужение сосудов. Если поступление крови в плод ограничено, то снижается его снабжение кислородом и питательными веществами, что может вызвать задержку развития. У курящих женщин ребенок при рождении весит в среднем на 300—350 г меньше нормы. Существуют и другие проблемы, связанные с курением при беременности. У таких женщин чаще происходят преждевременные роды и выкидыши на поздних сроках беременности. На 30% выше вероятность ранней детской смертности и на 50% — вероятность развития пороков сердца у детей, чьи матери не смогли во время беременности отказаться от сигарет.

Столь же легко через плаценту проходит и алкоголь. Употребление спиртного при беременности может вызвать у ребенка состояние, известное как *алкогольный синдром плода*. При этом синдроме на-



Рис. 66. Отклонения от нормы среди новорожденных

крови матери через плаценту. Так как героин, кокаин и другие наркотики в первую очередь поражают нервную систему, у таких детей еще в период внутриутробного развития может возникнуть поражение головного мозга, что приведет в дальнейшем к задержке умственного развития или нарушению поведения.

Лекарственные препараты, которые продаются в аптеке без рецептов, всегда тщательно проверяются на выявление вредных воздействий. Однако, если возможно, было бы желательно ограничить прием лекарств, особенно на ранних стадиях беременности и в критические для развития плода периоды, потому что многие лекарственные препараты очень легко проходят через плаценту. ■

Для развития плода представляют серьезную опасность вирусные заболевания матери во время беременности. Наиболее опасны краснуха, гепатит В и ВИЧ-инфекция. В случае заражения краснухой на первом месяце беременности у 50% детей развиваются врожденные пороки: слепота, глухота, расстройства нервной системы и пороки сердца.

Постэмбриональное развитие. Существует немало классификаций периодов постэмбрионального развития человека, древнейшие из которых принадлежат еще античным ученым. В наиболее общем виде постэмбриональное развитие человека подразделяют на три периода: до-

блюдается задержка умственного развития, микроцефалия (недоразвитие головного мозга), расстройства поведения (повышенная возбудимость, невозможность сосредоточиться), снижение скорости роста, слабость мышц (рис. 66).

Особенно чувствителен плод к вредному воздействию наркотических веществ. Если женщина имеет зависимость от наркотических препаратов, то ее ребенок, как правило, в эмбриональный период развития приобретает такую же зависимость. После рождения у него возникает синдром отмены (ломка), потому что исчезает постоянное поступление наркотика, который до этого ребенок получал из

репродуктивный, период зрелости (репродуктивный) и период старения (пострепродуктивный).

Важнейшей чертой человека, приобретенной им в процессе эволюции, является удлинение *дорепродуктивного периода*. По сравнению с остальными млекопитающими, включая человекообразных приматов, половозрелость у человека наступает наиболее поздно. Удлинение детства и замедление роста и развития расширяют возможности обучения и приобретения социальных навыков.

Рост, развитие и формирование организма — это основные процессы онтогенеза человека. Знание особенностей этих процессов и факторов, влияющих на них, определяет, насколько здоровыми будут будущие поколения людей. Развитие каждого из нас обусловлено взаимодействием генетических (наследственных) и средовых (внешних) факторов. Всем хорошо известно отрицательное влияние на развитие человека недостаточного питания, промышленного загрязнения среды, стресса и болезней. ■

Репродуктивный период — это наиболее длительный этап постэмбрионального развития человека, завершение которого говорит о наступлении *пострепродуктивного периода*, или *периода старения*. Процесс старения затрагивает все уровни организации живого. На молекулярном уровне нарушаются процессы репликации ДНК и синтеза белков. На клеточном уровне снижается обмен веществ, замедляются митотические деления клеток, по-

■ Показательным примером является трагедия, связанная с талидомидом. Этот препарат в начале 60-х гг. XX в. выписывали многим беременным, страдающим от постоянных приступов тошноты. Довольно быстро выяснилось, что это лекарство вызывало нарушения развития конечностей у плода: они либо отсутствовали, либо были недоразвиты. Лекарство было запрещено, но несколько тысяч детей уже родились. Часто у новорожденных, чьи матери принимали талидомид, кисти или стопы росли прямо из туловища. Степень недоразвития конечностей зависела от того, на какой стадии беременности мать принимала лекарство.

■ Недостаток витамина D вызывает отставание в развитии и нарушение в формировании скелета.

Алкоголь, связываясь с поверхностью мембран нервных клеток, нарушает работу головного мозга, а при длительном употреблении вызывает цирроз печени.

Недостаток полноценных белков в пище приводит к замедлению роста детей и развитию у них психических отклонений.

степенно гибнут и не восстанавливаются нервные клетки. На уровне целого организма ослабевают функции всех систем органов.

Существует множество гипотез о механизмах старения, большинство из которых связывают возрастные изменения с процессами, происходящими на генетическом уровне. Открытие недавно генов «клеточной смерти», включение которых вызывает неизбежное нарушение нормального функционирования клеток, подтверждает эти гипотезы.

Старение неизбежно приводит к смерти — общему для всех живых существ финалу индивидуального развития организмов. Смерть является необходимым условием для смены поколений, т. е. для продолжения существования и эволюции человечества в целом.

Вопросы для повторения и задания

1. Назовите особенности онтогенеза, характерные для человека.
2. Как никотин, алкоголь и наркотические вещества влияют на развитие зародыша человека?
3. Какие факторы внешней среды оказывают влияние на развитие зародыша человека?
4. Перечислите периоды постэмбрионального развития человека.
5. К каким последствиям в развитии человека может привести недостаток витамина D и неполноценное питание?

3.10. Генетика — наука о закономерностях наследственности и изменчивости. Г. Мендель — основоположник генетики

Вспомните!

Что изучает генетика?

Почему основателем генетики считают Г. Менделя?

С какими объектами работал Г. Мендель?

Какой основной метод изучения наследственности он разработал?

Предмет и основные понятия генетики. На протяжении всей истории своего существования человечество всегда интересовал вопрос о причинах сходства детей и родителей. Почему подобное рождает подобное? «Как он похож на своего отца!» — восклицают родственники, придя на

день рождения и глядя на выросшего юношу. «У него абсолютный музыкальный слух!» — с гордостью сообщает его мать, обладающая таким же качеством. В голубых глазах родителей светится гордость за подрастающее поколение, а виновник торжества, невинно моргая такими же голубыми глазами, незаметно съедает приготовленные для гостей конфеты.

Мы наследуем от своих родителей не только цвет глаз и волос, форму носа и группу крови. Мы наследуем черты темперамента и особенности движений, склонность к изучению языков и способность к математике. Мы рождаемся на свет, имея свой уникальный наследственный материал, ту программу, на основе которой под влиянием факторов внешней среды, мы станем такими, какие мы есть — неповторимые и в то же время похожие на предыдущие поколения.

Наследственность и изменчивость — два свойства живых организмов, неразрывно связанные друг с другом как две стороны одной медали. Закономерности наследственности и изменчивости изучает одна из самых важных областей биологии — генетика.

Наследственность — это способность живых организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития следующему поколению. Наследственность обеспечивает материальную и функциональную преемственность между поколениями, сохраняя определенный порядок в природе. Некоторые виды могут оставаться относительно неизменными на протяжении сотен миллионов лет. Например, многие современные акулы мало чем отличаются от акул, живших в раннем меловом периоде более 130 млн лет тому назад.

Клетки организмов не содержат готовых признаков взрослой особи, наследование признаков происходит на молекулярном уровне. Основными структурами, которые обеспечивают материальную основу наследственности, являются хромосомы. Строго говоря, мы наследуем не свойства, а генетическую информацию. Элементарной структурной единицей наследственности является *ген* — участок ДНК, содержащий информацию о структуре одного белка. *Генотип* — это сумма всех генов организма, т. е. совокупность всех наследственных задатков.

Изменчивость — свойство, противоположное наследственности. Оно заключается в способности живых организмов существовать в различных формах, т. е. приобретать в процессе индивидуального развития признаки, отличные от качеств других особей того же вида.

Совокупность свойств и признаков организма, которые являются результатом взаимодействия генотипа особи и окружающей среды, на-

зывают *фенотипом*. Мы рождаемся с определенным цветом кожи, но стоит нам летом съездить в более южные края, как наша кожа приобретает смуглый оттенок. С возрастом светлеет радужка глаз и седеют волосы. Перенесенные в детстве болезни могут нарушить рост или развитие каких-то органов. Реализация наследственной информации находится под постоянным давлением факторов окружающей среды. Однако следует отметить, что существуют признаки, проявление которых не зависит от влияния внешней среды. Где бы мы ни жили: на севере или на юге, как бы нас ни кормили в детстве и какими бы болезнями мы ни болели, группа крови, с которой мы родились, останется неизменной на протяжении всей жизни.

У истоков генетики. Основные закономерности наследования признаков впервые были описаны во второй половине XIX в. австрийским ученым Грегором Менделем (1822—1884). Мендель не был первым ученым, который пытался ответить на вопрос: как передаются из поколения в поколение свойства и признаки? Многие исследователи до него скрещивали разнообразные организмы, стараясь увидеть какую-то систему в получаемых результатах. Стремясь добиться успеха как можно быстрее, исследователи скрещивали разные виды, получая при этом бесплодное потомство, брали для изучения сложные, трудно определяемые признаки, не вели точных математических подсчетов.

Объясняя, почему именно Мендель смог обнаружить закономерности в передаче признаков от поколения к поколению, английский генетик Шарлотта Ауэрбах сказала: «Успех работы Менделя по сравнению с исследованиями его предшественников объясняется тем, что он обладал двумя существенными качествами, необходимыми для ученого: способностью задавать природе нужный вопрос и способностью правильно истолковывать ответ природы».

Рассмотрим основные особенности работы Менделя, которые позволили ему добиться успеха:

- в качестве экспериментальных растений Мендель использовал разные сорта посевного гороха, поэтому потомство, получаемое в таких внутривидовых скрещиваниях, было плодовито;

- горох — самоопыляющееся растение, т. е. цветок защищен от случайного попадания посторонней пыльцы; при постановке нужного скрещивания Мендель удалял тычинки, чтобы исключить возможность самоопыления, а затем кисточкой переносил на пестик пыльцу другого родительского растения;

- горох неприхотлив и имеет высокую плодовитость;
- в качестве экспериментальных признаков Мендель выбрал простые качественные альтернативные признаки по типу «или-или» (цветки пурпурные или белые, семена желтые или зеленые); сейчас трудно сказать, что здесь сыграло основную роль — удача или гениальное предвидение, но оказалось, что каждая пара выбранных Менделем признаков контролировалась одним геном, что значительно упрощало трактовку результатов скрещивания;
- при обработке получаемых данных Мендель вел строгий математический учет фенотипов всех растений и семян.

В течение восьми лет Мендель экспериментировал с 22 сортами гороха, которые отличались друг от друга по семи признакам. За это время он изучил в общей сложности более 10 тыс. растений. Скрещивая различные организмы и исследуя получаемое потомство, Мендель, по сути, разработал основной и специфический метод генетики. *Гибридологический метод — это система скрещиваний в ряду поколений, дающая возможность при половом размножении анализировать наследование отдельных свойств и признаков организмов, а также обнаруживать возникновение наследственных изменений.*

Результаты своих экспериментов Г. Мендель представил в 1865 г. на заседании Общества естествоиспытателей г. Брюнна (современный город Брно) и изложил в статье «Опыты над растительными гибридами». Но современники Менделя работы не оценили, и за оставшиеся 35 лет XIX века его статью процитировали всего 5 раз.

Работа Менделя значительно опередила уровень развития науки того времени. Лишь когда в 1900 г. сразу в трех лабораториях открыли заново закономерности наследования, ученый мир вспомнил, что 35 лет тому назад они уже были сформулированы. 1900 год считается годом рождения генетики, но закономерности, установленные в свое время Грегором Менделем, справедливо носят его имя.

Вопросы для повторения и задания

1. Дайте определения понятий «наследственность» и «изменчивость».
2. Кто впервые открыл закономерности наследования признаков?
3. На каких растениях проводил опыты Г. Мендель?
4. Благодаря каким особенностям организации работы Г. Менделю удалось открыть законы наследования признаков?

3.11. Закономерности наследования. Моногибридное скрещивание

Вспомните!

Что такое ген?

Какой набор хромосом содержат половые клетки?

Закон единообразия гибридов первого поколения. Мендель начал работу с постановки эксперимента по наиболее простому, *моногибридному скрещиванию*, в котором родительские особи отличались друг от друга по одному изучаемому признаку. Поскольку горох — самоопыляющееся растение, в пределах одного сорта не существует изменчивости по конкретному признаку: на растениях, выросших из желтых семян, всегда созревают желтые семена, а на растениях, выросших из зеленых, — зеленые. Учитывая это свойство, Мендель скрестил растения гороха, отличающиеся по цвету семян (рис. 67). Гибридные семена первого поколения все оказались желтого цвета. Аналогичные результаты Мендель получил, изучая наследование остальных пар признаков. Следовательно, у гибридов первого поколения из каждой пары альтернативных признаков развивается только один. Второй признак как бы исчезает, не проявляется. Явление преобладания у гибрида признака одного из родителей Мендель назвал *доминированием*. Признак, проявляющийся у гибрида первого поколения и подавляющий развитие другого признака, был назван *доминантным*, а противоположный признак, не проявляющийся у гибридов, т. е. подавляемый, — *рецессивным*.

В результате такого скрещивания была установлена важнейшая закономерность наследования, получившая название *закона единообразия гибридов первого поколения*, или *закона доминирования* (первый закон Менделя): *при скрещивании двух гомозиготных организмов, обладающих альтернативными признаками, все гибриды первого поколения будут иметь признак одного из родителей, т.е. будут единообразны по фенотипу*. Впоследствии было установлено, что явление доминирования широко распространено и является общей закономерностью для наследования многих признаков у большинства организмов.

Закон расщепления. Из гибридных семян гороха Мендель вырастил растения, которые в результате самоопыления произвели семена второго поколения (рис. 67). Среди них оказались не только желтые, но и

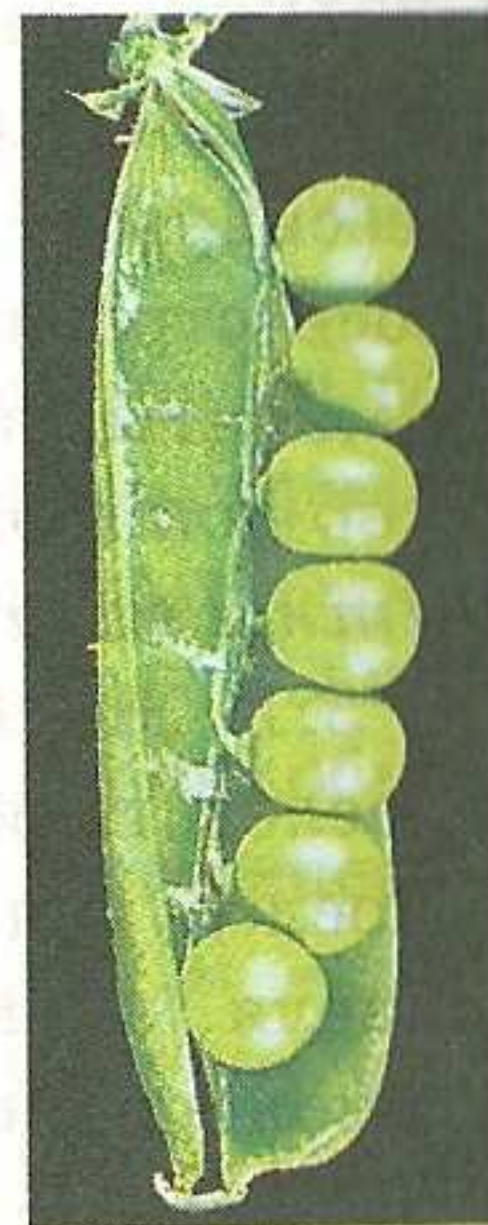
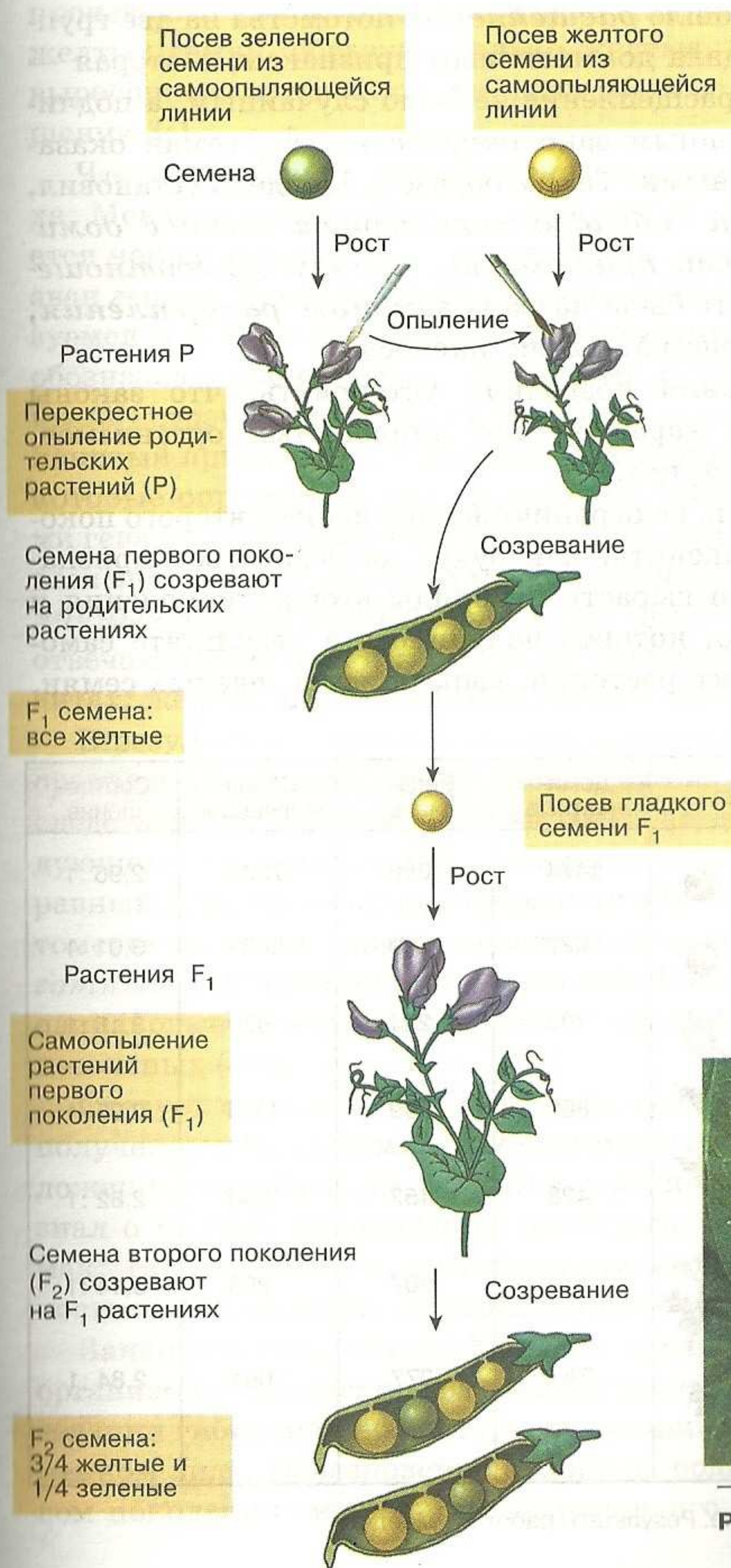


Рис. 67. Моногибридное скрещивание

зеленые семена, т. е. произошло *расщепление* потомства на две группы, одна из которых обладала доминантным признаком, а вторая — рецессивным. Причем это расщепление не было случайным, а подчинялось строгим количественным закономерностям: $\frac{3}{4}$ семян оказались желтыми и $\frac{1}{4}$ — зелеными. Таким образом, Мендель установил, что *во втором поколении гибридов появляются особи с доминантными и рецессивными признаками, причем их соотношение 3:1*. Эта закономерность была названа *законом расщепления*, а впоследствии вторым законом Менделя (рис. 68).

Последующие исследования позволили установить, что законы Менделя имеют всеобщий характер для диплоидных организмов, размножающихся половым путем.

Аллельные гены. Мендель не ограничился изучением второго поколения гибридов. Чтобы выяснить, как будут наследоваться признаки в третьем поколении, он вырастил гибриды второго поколения и проанализировал потомство, которое получилось в результате самоопыления. Оказалось, что все растения, выросшие из зеленых семян,

Доминантные	×	Рецессивные	Доминантные	Рецессивные	Общее количество	Соотношение
 Гладкие семена	×	Морщинистые семена 	5474	1850	7324	2,96 : 1
 Желтые семена	×	Зеленые семена 	6022	2001	8023	3,01 : 1
 Пурпурные цветки	×	Белые цветки 	705	224	929	3,15 : 1
 Гладкие плоды	×	Плоды с перетяжками 	882	299	1181	2,95 : 1
 Зеленые плоды	×	Желтые плоды 	428	152	580	2,82 : 1
 Пазушные цветки	×	Верхушечные цветки 	651	207	858	3,14 : 1
 Высокий стебель (1 м)	×	Низкий стебель (0,3 м) 	787	277	1064	2,84 : 1

Рис. 68. Моногибридное скрещивание. Результаты работы Г. Менделя

производят только зеленые семена, $\frac{1}{3}$ растений, развивающихся из желтых семян, образуют только желтые, а оставшиеся $\frac{2}{3}$ растений, выросших из желтых семян, дают желтые и зеленые семена в соотношении 3:1.

Чтобы объяснить закономерности наследования признаков у гороха, Мендель предположил, что развитие каждого признака определяется неким наследственным фактором, который впоследствии был назван *геном*. Мендель ввел буквенные обозначения, которыми мы пользуемся и в настоящее время. Доминантные признаки и гены обычно обозначают прописными латинскими буквами (*A*, *B*, *C*), а рецессивные — строчными (*a*, *b*, *c*). В данном опыте желтая окраска — доминантный признак (*A*), а зеленая — рецессивный (*a*). Пару генов (*A* и *a*), которые определяют альтернативные признаки, называют аллельными генами, а каждый член пары — аллелем. *Аллели* (от греч. *allelon* — взаимно) — это различные состояния гена, определяющие различные формы одного и того же признака. В данном примере ген, отвечающий за цвет семени, может находиться в двух аллельных вариантах: желтая окраска (*A*) или зеленая окраска (*a*).

В результате анализа третьего поколения Мендель обнаружил, что организмы, одинаковые по внешнему виду, могут различаться по наследственным задаткам. Организмы, не дающие расщепления в следующем поколении, были названы *гомозиготными* (от греч. *gomo* — равный, *zygote* — оплодотворенная яйцеклетка), а организмы, в потомстве которых обнаруживается расщепление, называли *гетерозиготными* (от греч. *getero* — разный). Гомозиготные организмы имеют одинаковые аллели одного гена — оба доминантных (*AA*) или оба рецессивных (*aa*).

Следует отметить, что, разбирая сейчас результаты скрещиваний, полученные Менделем, мы находимся в гораздо более выигрышном положении, чем был сам ученый в середине XIX в. В то время никто не знал о мейозе, локализации наследственной информации в хромосомах, гаплоидности и диплоидности организмов. Тем большую ценность имеют выводы, сделанные Менделем.

Закон чистоты гамет. Мендель предположил, что каждая клетка организма содержит по два наследственных фактора, причем при образовании гибридов эти факторы не смешиваются, а сохраняются в неизменном виде. Исчезновение одного из родительских признаков в первом поколении гибридов и появление его вновь во втором поколении

подтверждало предположение Менделя, что наследственные факторы — это некие дискретные¹ единицы, которые не «растворяются» и не «смешиваются», а сохраняются в неизменном виде из поколения в поколение.

При половом размножении связь между поколениями осуществляется через половые клетки — гаметы. Поэтому Мендель логично предположил, что каждая гамета должна содержать только один фактор из пары, чтобы при их слиянии восстанавливался двойной набор. Если при оплодотворении встретятся две гаметы, несущие рецессивный фактор, сформируется организм с рецессивным признаком (aa), а если хотя бы одна из двух гамет будет содержать доминантный фактор, образуется особь с доминантным признаком (AA , Aa). Основываясь на результатах своих экспериментов, Мендель сделал вывод, что наследственные факторы (т. е. в современном понимании — гены) в гибриде не смешиваются, не сливаются и передаются гаметам в «чистом» виде. В этом и состоит смысл **закона чистоты гамет**, который в настоящее время можно сформулировать следующим образом: *при образовании половых клеток в каждую гамету попадает только один аллель из каждой пары.*

Для того чтобы понять, почему и как это происходит, надо вспомнить основные явления, происходящие в мейозе. В каждой клетке тела содержится диплоидный ($2n$) набор хромосом. В результате мейоза образуются клетки, несущие гаплоидный набор хромосом ($1n$), т. е. содержащие по одной хромосоме из каждой пары гомологичных хромосом. В дальнейшем слияние гаплоидных гамет вновь приводит к образованию диплоидного организма. В свете современных знаний представления Менделя о парности наследственных факторов, чистоте гамет и закономерностях расщепления легко объясняются присутствием у диплоидных организмов гомологичных хромосом, их расхождением в мейозе и восстановлением двойного набора при оплодотворении.

Цитологические основы моногибридного скрещивания. Давайте схематично представим результаты скрещиваний, осуществленные Менделем, используя современные знания (рис. 69).

P (от лат. *parenta* — родители) обозначает родительское поколение, F_1 (от лат. *filii* — дети) — гибриды первого поколения, F_2 — гибриды второго поколения, символ ♀ — женскую особь, символ ♂ — муж-

¹ Дискретный — раздельный, состоящий из отдельных частей.

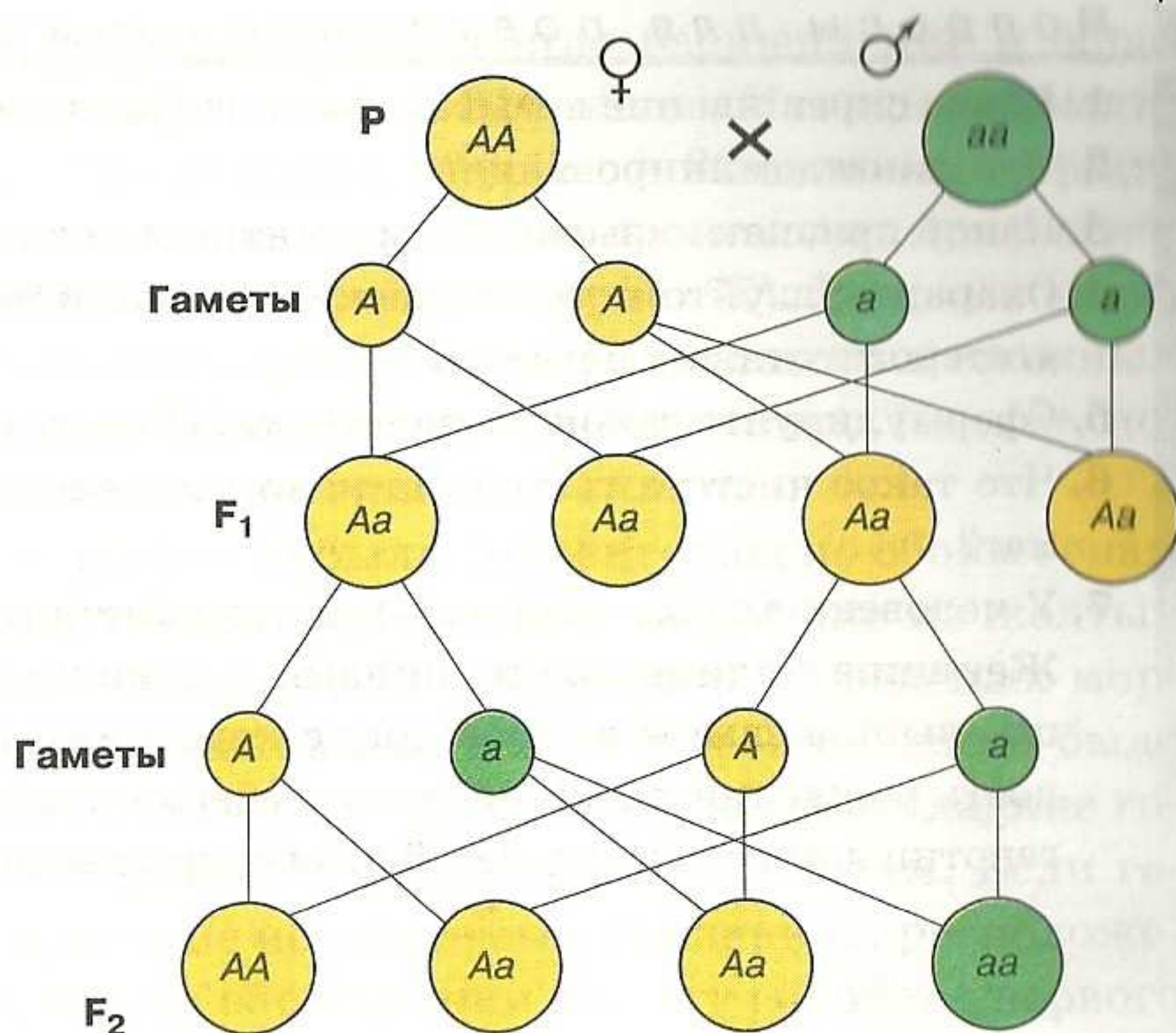


Рис. 69. Цитологические основы моногибридного скрещивания

скую, знак $\times$ — скрещивание, A — доминантный ген, отвечающий за формирование желтой окраски семян, a — рецессивный ген, отвечающий за зеленую окраску. Исходные родительские растения в рассматриваемом опыте были гомозиготными, т. е. содержали в обеих гомологичных хромосомах одинаковые аллели гена. Следовательно, первое скрещивание можно записать так: $P (\text{♀ } AA \times \text{♂ } aa)$. Оба родительских растения могли образовывать гаметы только одного типа: женское растение — гаметы, содержащие ген A , мужское — a . Поэтому при их слиянии все особи первого поколения имели одинаковый гетерозиготный генотип (Aa) и одинаковое проявление признака (желтые семена). Гибриды первого поколения образовывали в равном соотношении гаметы двух типов, несущие гены A и a . При самоопылении в результате случайной встречи гамет в F_2 возникали следующие зиготы: AA , Aa , aA , aa , что можно записать так: $AA + 2Aa + aa$. Гетерозиготные семена окрашены в желтый цвет, поэтому по фенотипу расщепление во втором поколении соответствует 3:1. Понятно, что та $\frac{1}{3}$ растений, которые выросли из желтых семян, имеющих гены AA , при самоопылении сформируют только желтые семена. Остальные $\frac{2}{3}$ растений (Aa) в следующем поколении вновь образуют расщепление признаков.

Вопросы для повторения и задания

1. Какое скрещивание называют моногибридным?
2. Что такое доминирование?
3. Какой признак называют доминантным, а какой — рецессивным?
4. Охарактеризуйте с генетических позиций понятия «гомозиготный» и «гетерозиготный» организм.
5. Сформулируйте закон расщепления. Почему он так называется?
6. Что такое чистота гамет? На каком явлении основан закон чистоты гамет?
7. У человека аллель длинных ресниц доминирует над аллелем коротких. Женщина с длинными ресницами, у отца которой были короткие ресницы, вышла замуж за мужчину с короткими ресницами. Какова вероятность рождения в данной семье ребенка с длинными ресницами? Какие генотипы могут быть у детей этой супружеской пары?

3.12. Закономерности наследования. Дигибридное скрещивание

Вспомните!

Какое скрещивание называют моногибридным?

Что такое гомозиготный организм? Гетерозиготный организм?

Закон независимого наследования. Изучение наследования отдельных признаков (цвет семени, форма семени, цвет венчика и др.) позволило Г. Менделю установить ряд важных закономерностей. Но в природе организмы редко отличаются друг от друга только по одному признаку, поэтому Мендель решил исследовать, как ведут себя в ряду поколений несколько признаков одновременно.

Скрещивание, при котором прослеживается наследование двух пар альтернативных признаков, называют *дигибридным*. Для постановки эксперимента по дигибридному скрещиванию Мендель взял два сорта гороха, один из которых имел желтые и гладкие семена, а другой — зеленые и морщинистые. В первом поколении все гибридные семена были желтыми и гладкими, т. е. закономерность единообразия сохранилась и в этом типе скрещивания. Следовательно, желтая окраска (A) и гладкая форма (B) — доминантные признаки, а зеленая окраска (a) и морщинистая форма (b) — рецессивные. При самоопылении гибрид-

ных растений во втором поколении произошло расщепление и образовалось четыре фенотипических класса: 315 желтых гладких семян, 101 желтое морщинистое, 108 зеленых гладких и 32 зеленых морщинистых. Для того чтобы было легче понять, что происходит при дигибридном скрещивании, воспользуемся таблицей (рис. 70). Впервые такой способ определения соотношения фенотипических классов в сложных скрещиваниях предложил английский генетик Реджиналд Пеннет, поэтому такая таблица называется *решеткой Пеннета*.

Исходные родительские растения были гомозиготны по обоим генам и могли образовать гаметы только одного типа: выросшие из желтых гладких горошин ($AABB$) — только AB , а выросшие из зеленых морщинистых ($aabb$) — ab . Следовательно, все первое поколение было единообразно и по генотипу ($AaBb$) и по фенотипу (желтые гладкие горошины), что соответствует данным, полученным Менделем. Если гены, отвечающие за формирование исследуемых признаков, расположены в разных хромосомах, то при образовании гамет у гибридов первого поколения они будут комбинироваться независимо друг от друга. Вспомните, что в первом делении мейоза при образовании половых клеток гомологичные хромосомы каждой пары расходятся к разным полюсам клетки независимо от других пар гомологичных хромосом. Допустим, хромосома с геном A отошла к одному полюсу, к тому же полюсу с равной вероятностью может отойти и хромосома с геном B и хромосома с геном b . Следовательно, ген A может оказаться в одной гамете и с геном B , и с геном b . Оба события равновероятны. Поэтому у гибридов первого поколения ($AaBb$) образуется четыре типа гамет в равных количествах: AB , Ab , aB , ab . В дальнейшем при оплодотворении любая гамета женского организма имеет равные шансы быть оплодотворенной любой мужской гаметой. Генотипы и фенотипы второго поколения представлены в таблице. Всего во втором поколении (в F_2) образуется 9 разных генотипов, которые проявляются в виде четырех фенотипических групп (желтые гладкие, желтые морщинистые, зеленые гладкие и зеленые морщинистые), причем соотношение этих фенотипов соответствует отношению 9:3:3:1. Количество фенотипических классов меньше, чем число генотипов, потому что обладатели разных генотипов могут иметь одно и то же внешнее фенотипическое проявление признаков. Так, желтые гладкие семена представлены четырьмя разными генотипами ($AABB$, $AaBB$, $AABb$, $AaBb$), желтые морщинистые — двумя генотипами ($AAbb$, $Aabb$), зеленые гладкие — тоже

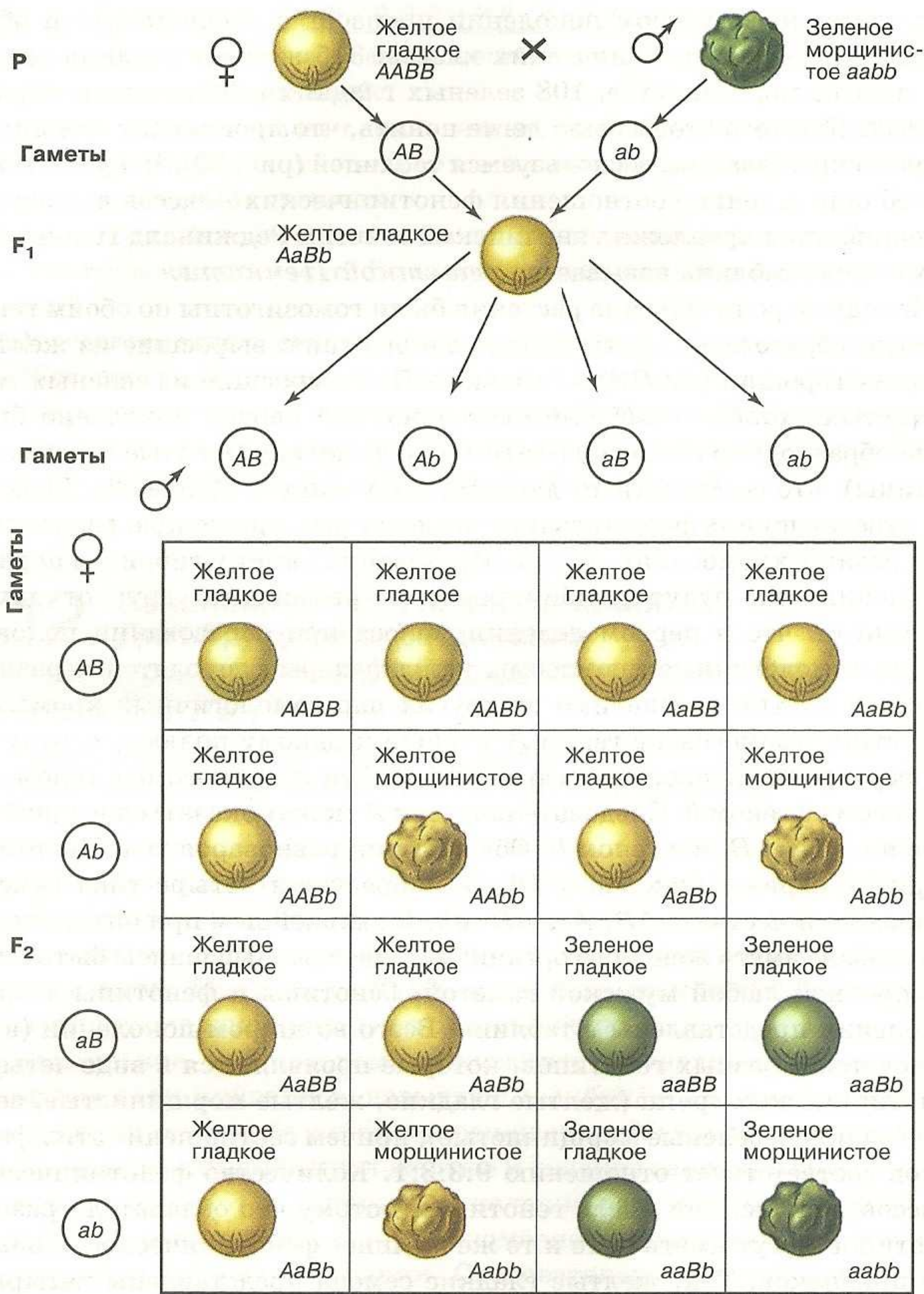


Рис. 70. Наследование признаков при дигибридном скрещивании

двумя ($aaBB$, $aaBb$), а зеленые морщинистые — только одним ($aabb$). Если мы подсчитаем расщепление в F_2 по каждой паре признаков отдельно, то легко убедимся, что в обоих случаях (желтые — зеленые и гладкие — морщинистые) оно равно 12:4, т. е. 3:1, как и при моногибридном скрещивании. Следовательно, каждая пара альтернативных признаков наследуется независимо. Значит, дигибридное скрещивание представляет собой два независимо идущих моногибридных скрещивания, результаты которых как бы накладываются друг на друга.

Следует подчеркнуть, что такое независимое распределение признаков в потомстве при дигибридном скрещивании возможно лишь в том случае, когда гены, определяющие развитие данных признаков, расположены в разных негомологичных хромосомах.

Полученные результаты дигибридных скрещиваний позволили Менделю сформулировать **закон независимого наследования** (третий закон Менделя): *при скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум и более парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки передаются потомству независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях.*

Анализирующее скрещивание.

Мы с вами уже не раз убеждались, что особи, имеющие одинаковые проявления признаков (одинаковый фенотип), могут обладать разными генотипами. При полном доминировании одного аллеля над другим гетерозиготные особи (Aa) внешне неотличимы от гомозиготных по доминантному аллелю (AA). Часто возникает необходимость определить генотип конкретной особи. Для этого проводят так называемое анализирующее скрещивание (рис. 71). Это такой тип скрещивания, при котором исследуемую особь с доминантным фенотипом скрещивают с организмом, гомозиготным по рецессив-

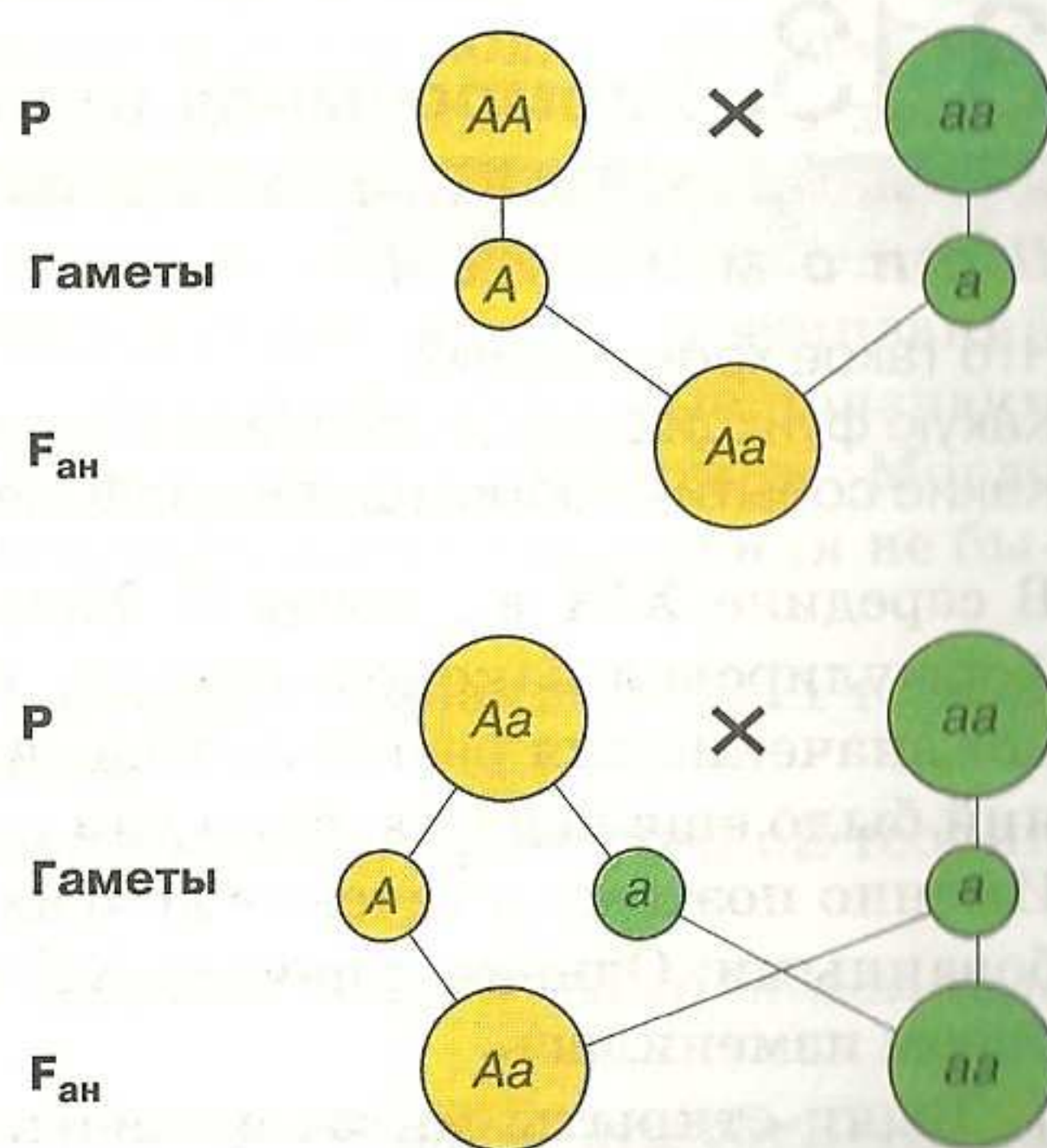


Рис. 71. Анализирующее скрещивание по одной паре признаков

ному аллелю (анализатором). Если испытываемая особь гомозиготна (AA), то потомство от такого скрещивания будет единообразно и расщепления не произойдет. Совершенно иной результат получится при скрещивании в том случае, если исследуемый организм гетерозиготен (Aa). В потомстве произойдет расщепление и образуется два фенотипических класса, причем их соотношение будет строго 1:1. Полученный результат четко доказывает формирование у одной из родительских особей двух типов гамет, т. е. ее гетерозиготность.

Вопросы для повторения и задания

1. Какое скрещивание называется дигибридным?
2. Сформулируйте закон независимого наследования. Для каких аллельных пар справедлив этот закон?
3. Что такое анализирующее скрещивание?
4. При каких условиях в дигибридном скрещивании наблюдается независимое распределение признаков в потомстве?
5. Подумайте, какое соотношение фенотипических классов следует ожидать в дигибридном анализирующем скрещивании, если признаки наследуются независимо.

3.13. Хромосомная теория наследственности

Вспомните!

Что такое хромосомы?

Какую функцию они выполняют в клетке и в организме в целом?

Какие события происходят в профазе I мейотического деления?

В середине XIX в., когда Г. Мендель проводил свои эксперименты и формулировал закономерности, имеющие всеобщее и фундаментальное значение для развития генетики и биологии в целом, научных знаний было еще недостаточно для понимания механизмов наследования. Именно поэтому в течение долгих лет работы Менделя были невостребованными. Однако к началу XX в. ситуация в биологии коренным образом изменилась.

Были открыты митоз и мейоз, заново переоткрыты законы Менделя. Независимо друг от друга исследователи в Германии и США предположили, что наследственные факторы расположены в хромосомах. В 1906 г. Р. Пеннет впервые описал нарушение менделевского закона

независимого наследования двух признаков. При постановке классического дигибридного скрещивания растений душистого горошка, отличающихся по окраске цветков и форме пыльцы, во втором поколении Пеннет не получил ожидаемого расщепления 9:3:3:1. Гибриды F_2 имели только родительские фенотипы в соотношении 3:1, т. е. перераспределения признаков не произошло.

Постепенно все больше накапливалось подобных исключений, которые не подчинялись закону независимого наследования. Возникал вопрос, а как именно расположены гены в хромосомах? Ведь число признаков, а следовательно, число генов у каждого организма гораздо больше, нежели число хромосом. Значит, в каждой хромосоме находится множество генов, отвечающих за разные признаки. Как же наследуются гены, расположенные в одной хромосоме?

Работа Т. Моргана. На эти вопросы смогла ответить группа американских ученых, возглавляемая Томасом Хантом Морганом (1866—1945). Работая на очень удобном генетическом объекте — плодовой мушке дрозофиле, они провели огромную работу по изучению наследования генов.

Ученые установили, что *гены, находящиеся в одной хромосоме, наследуются совместно, т. е. сцеплено*. Это явление получило название *закона Моргана*, или *закона сцепленного наследования*. Группы генов, расположенные в одной хромосоме, были названы *группой сцепления*. Так как в гомологичных хромосомах находятся одинаковые гены, количество групп сцеплений равно количеству пар хромосом, т. е. гаплоидному числу хромосом. У человека 23 пары хромосом и, следовательно, 23 группы сцепления, у собаки 39 пар хромосом и 39 групп сцепления, у гороха 7 пар хромосом и 7 групп сцепления и т. д. Надо отметить, что при постановке дигибридных скрещиваний Менделю удивительно повезло: гены, отвечающие за разные признаки (цвет и форма горошин), находились в разных хромосомах. Могло быть иначе, и тогда закономерность независимого расщепления не была бы обнаружена.

Итогом работы группы Т. Моргана явилось создание в 1911 г. *хромосомной теории наследственности*.

Рассмотрим основные положения современной хромосомной теории наследственности.

Единица наследственности — ген, который представляет собой участок хромосомы.

Гены расположены в хромосомах в строго определенных местах (локусах), причем аллельные гены (отвечающие за развитие одного признака) расположены в одинаковых локусах гомологичных хромосом.

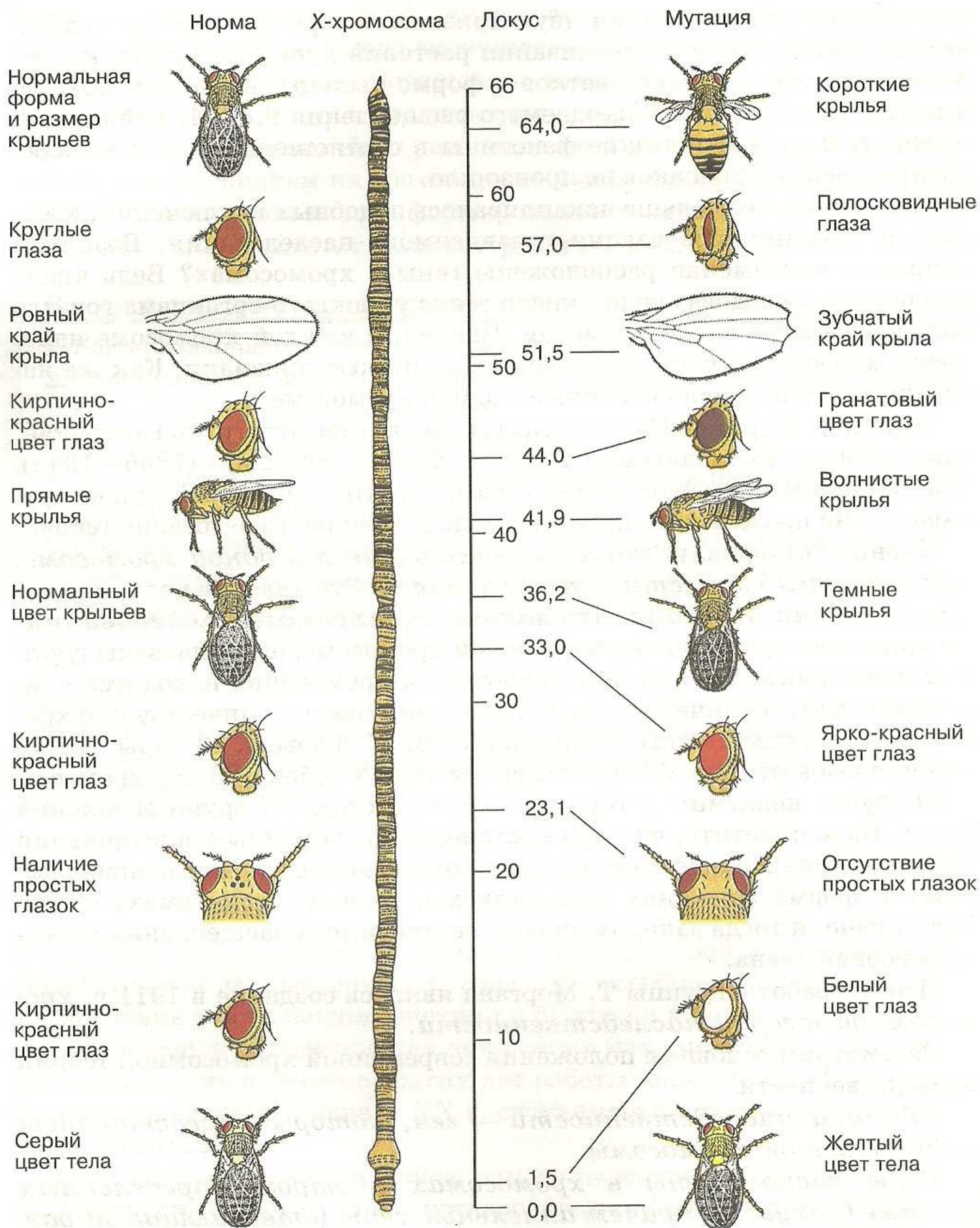


Рис. 72. Генетическая карта X-хромосомы дрозофилы

Гены расположены в хромосомах в линейном порядке, т. е. друг за другом.

Нарушение сцепления. Однако в некоторых скрещиваниях при анализе наследования генов, расположенных в одной хромосоме, было обнаружено нарушение сцепления. Оказалось, что иногда парные гомологичные хромосомы могут обмениваться друг с другом одинаковыми гомологичными участками. Для того чтобы это произошло, хромосомы должны расположиться в непосредственной близости друг к другу, только в этом случае хромосомы могут обмениваться расположенными друг напротив друга локусами, содержащими одинаковые гены. Вспомните деление мейоза, в процессе которого образуются половые клетки. В профазе первого мейотического деления при образовании бивалента (тетрады), когда удвоенные гомологичные хромосомы встают параллельно друг другу, может произойти подобный обмен (см. рис. 60). Такое событие приводит к рекомбинированию генетического материала, увеличивает разнообразие потомков, т. е. повышает наследственную изменчивость и, следовательно, играет важную роль в эволюции.

Генетические карты. Явление обмена аллельными генами между гомологичными хромосомами помогло ученым определить место расположения каждого гена в хромосоме, т. е. построить генетические карты. Генетическая карта хромосомы представляет собой схему взаимного расположения генов, находящихся в одной хромосоме, т. е. в одной группе сцепления (рис. 72). Построение подобных карт представляет большой интерес и для фундаментальных исследований, и для решения самых разных практических задач. Например, генетические карты хромосом человека очень важны для диагностики ряда тяжелых наследственных заболеваний.

В настоящее время на смену простым генетическим картам приходят молекулярно-генетические карты, которые содержат информацию о нуклеотидных последовательностях генов.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое сцепленное наследование?
2. Что представляют собой группы сцепления генов?
3. Что является причиной нарушения сцепления генов?
4. Каково биологическое значение обмена аллельными генами между гомологичными хромосомами?
5. Подтверждена ли цитологически теория сцепленного наследования?

3.14. Современные представления о гене и геноме

Вспомните!

Что такое ген и генотип?

Что вам известно о современных достижениях в области генетики?

В 1988 г. в США по инициативе лауреата Нобелевской премии Джеймса Уотсона и в 1989 г. в России под руководством академика Александра Александровича Баева были начаты работы по реализации грандиозного мирового проекта «Геном человека». По масштабам финансирования этот проект сравним с космическими проектами. Целью первого этапа работы было определение полной последовательности нуклеотидов в ДНК человека. Сотни ученых многих стран мира в течение 10 лет трудились над решением этой задачи. Все хромосомы были «поделены» между научными коллективами стран-участниц проекта. России для исследования достались третья, тринадцатая и девятнадцатая хромосомы.

Весной 2000 г. в канадском городе Ванкувере подвели итоги первого этапа. Было официально объявлено, что нуклеотидная последовательность всех хромосом человека расшифрована. Трудно переоценить значение этой работы, так как знание структуры генов человеческого организма позволяет понять механизмы их функционирования и, следовательно, определить влияние наследственности на формирование признаков и свойств организма, на здоровье и продолжительность жизни. В ходе исследований было обнаружено множество новых генов, чью роль в формировании организма в дальнейшем предстоит изучить

более подробно. Изучение генов ведет к созданию принципиально новых средств диагностики и способов лечения наследственных заболеваний. ■

■ По мнению ученых, если XX век был веком генетики, то XXI век будет веком геномики (термин введен в 1987 г.).

Геномика — наука, которая изучает структурно-функциональную организацию генома, представляющего собой совокупность генов и генетических элементов, определяющих все признаки организма.

Но не только для биологии и медицины оказались важны полученные сведения. На основе знаний структуры генома человека можно реконструировать историю человеческого общества и эволюцию человека как биологи-

ческого вида. Сравнение геномов разных видов организмов позволяет изучать происхождение и эволюцию жизни на Земле.

Что же представляет собой геном человека?

Геном человека. Вам уже известны понятия «ген» и «генотип». Термин «*геном*» впервые был введен немецким ботаником Гансом Винклером в 1920 г., который охарактеризовал его как совокупность генов, характерных для гаплоидного набора хромосом данного вида организма. В отличие от генотипа, геном является характеристикой вида, а не отдельной особи. Каждая гамета диплоидного организма, несущая гаплоидный набор хромосом, по сути, содержит геном, характерный для данного вида. Вспомните наследование признаков у гороха. Гены окраски семени, формы семени, окраски цветка есть у каждого растения, они являются обязательными для его существования и входят в геном данного вида. Но у любого растения гороха, как у всех диплоидных организмов, существует два аллеля каждого гена, расположенные в гомологичных хромосомах. У одного растения это могут быть одинаковые аллели, отвечающие за желтую окраску горошин, у другого — разные, обуславливающие желтую и зеленую, у третьего — оба аллеля будут определять развитие зеленой окраски семян, и так по всем признакам. Эти индивидуальные отличия являются характеристикой *генотипа* конкретной особи, а не генома. Итак, геном — это «список» генов, необходимых для нормального функционирования организма.

Расшифровка полной последовательности нуклеотидов в ДНК человека позволила оценить общее число генов, составляющих геном. Оказалось, что их всего около 30—40 тыс., хотя точное число пока не известно. Раньше предполагали, что количество генов у человека раза в 3—4 больше — около 100 тыс., поэтому данные результаты стали своего рода сенсацией. У каждого из нас генов всего в 5 раз больше, чем у дрожжей, и всего в 2 раза больше, чем у дрозофилы. По сравнению с другими организмами, мы имеем не так уж много генов. Может быть, существуют какие-то особенности в строении и функционировании нашего генома, которые позволяют человеку быть сложноорганизованным существом?

Строение гена эукариот. В среднем на один ген в хромосоме человека приходится около 50 тыс. нуклеотидов. Существуют очень короткие гены. Например белок энкефалин, который синтезируется в нейронах головного мозга и влияет на формирование наших положительных эмоций, состоит всего из 5 аминокислот. Следовательно, ген, отвечаю-

щий за его синтез, содержит всего около двух десятков нуклеотидов. А самый длинный ген, кодирующий один из мышечных белков, состоит из 2,5 млн нуклеотидов.

В геноме человека, так же как и у других млекопитающих, участки ДНК, кодирующие белки, составляют менее 5% от всей длины хромосом. Остальную, большую часть ДНК раньше называли избыточной, но теперь стало ясно, что она выполняет очень важные регуляторные функции, определяя, в каких клетках и когда должны функционировать те или иные гены. У более просто организованных прокариотических организмов, геном которых представлен одной кольцевой молекулой ДНК, на кодирующую часть приходится до 90% от всего генома.

Все десятки тысяч генов не работают одновременно в каждой клетке многоклеточного организма, этого не требуется. Существующая специализация между клетками определяется избирательным функционированием определенных генов. Мышечной клетке не надо синтезировать кератин, а нервной — мышечные белки. Хотя надо отметить, что существует довольно большая группа генов, которые работают практически постоянно во всех клетках. Это гены, в которых закодирована информация о белках, необходимых для осуществления жизненно важных функций клетки, таких, как редупликация, транскрипция, синтез АТФ и многие другие.

В соответствии с современными научными представлениями, ген эукариотических клеток, кодирующий определенный белок, всегда состоит из нескольких обязательных элементов. Как правило, в начале и в конце гена располагаются специальные *регуляторные участки*; они определяют, когда, при каких обстоятельствах и в каких тканях будет работать этот ген. Подобные регуляторные участки дополнительно могут находиться и вне гена, располагаясь достаточно далеко, но, тем не менее, активно участвуя в его управлении.

Кроме регуляторных зон существует *структурная часть* гена, которая собственно и содержит информацию о первичной структуре соответствующего белка. У большинства генов эукариот она существенно короче регуляторной зоны.

Взаимодействие генов. Необходимо отчетливо представлять себе, что работа одного гена не может осуществляться изолированно от всех остальных. Взаимовлияние генов многообразно, и в формировании большинства признаков организма обычно принимает участие не один и не два, а десятки разных генов, каждый из которых вносит свой определенный вклад в этот процесс.

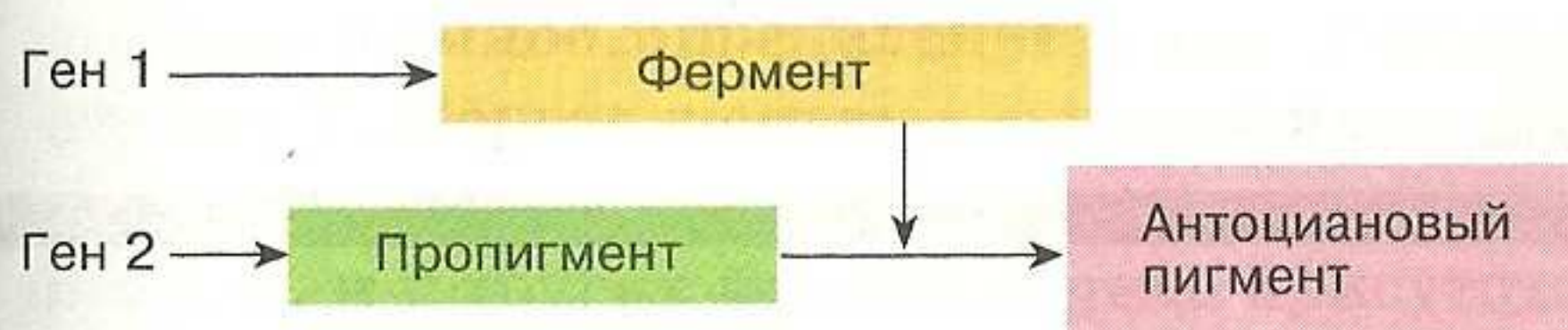


Рис. 73. Схема образования пигмента у душистого горошка

По данным проекта «Геном человека», для нормального развития клетки гладкой мышечной ткани необходима слаженная работа 127 генов, а в формировании поперечно-полосатого мышечного волокна участвуют продукты 735 генов.

В качестве примера взаимодействия генов рассмотрим, как наследуется окраска цветка у некоторых растений. В клетках венчика душистого горошка синтезируется некое вещество, так называемый пропигмент, который под действием специального фермента может превратиться в антоциановый пигмент, вызывающий пурпурную окраску цветка. Значит, наличие окраски зависит от нормального функционирования по крайней мере двух генов, один из которых отвечает за синтез пропигмента, а другой — за синтез фермента (рис. 73). Нарушение в работе любого из этих генов приведет к нарушению синтеза пигмента и, как следствие, к отсутствию окраски; при этом венчик цветков будет белый.

Иногда встречается и противоположная ситуация, когда один ген влияет на развитие нескольких признаков и свойств организма. Такое явление называют *плейотропией* или множественным действием гена. Как правило, такое действие вызывают гены, функционирование которых очень важно на ранних стадиях онтогенеза. У человека подобным примером может служить ген, участвующий в формировании соединительной ткани. Нарушение в его работе приводит к развитию сразу нескольких симптомов: длинные «паучьи» пальцы, очень высокий рост из-за сильного удлинения конечностей, высокая подвижность суставов, нарушение структуры хрусталика и аневризма (выпячивание стенки) аорты.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое геном?
2. Чем определяется существующая специализация клеток?
3. Какие обязательные элементы входят в состав гена эукариот?
4. Приведите примеры взаимодействия генов.

3.15. Генетика пола

Вспомните!

Каково соотношение мужчин и женщин в человеческой популяции?
 Что вам известно об определении пола из предыдущих курсов биологии?
 Какие организмы называют гермафродитными?

Проблема взаимоотношения полов, морфологические и физиологические отличия мужчин и женщин, их особенности темперамента и поведения всегда интересовали человечество. От чего зависит пол новорожденного младенца? Нельзя ли предсказать или предопределить рождение ребенка определенного пола? Почему у раздельнополых видов, к которым относится человек, численность мужских и женских особей, как правило, примерно одинакова? Наконец, почему у одной и той же пары родителей рождаются потомки разного пола?

Еще Г. Мендель обратил внимание на то, что соотношение 1:1 по половой принадлежности напоминает расщепление, которое получается при анализирующем скрещивании, если исследуемая особь имела гетерозиготный генотип ($Aa \times aa \rightarrow 1 Aa : 1 aa$). Логично было предположить, что один пол гетерозиготен, а второй — гомозиготен по гену, который определяет пол организма. Но все оказалось гораздо сложнее.

Существуют некоторые виды покрытосеменных растений, у которых пол действительно определяется отдельным геном, как признак, наследуемый по законам Менделя. Но у раздельнополых животных для определения и формирования пола одного гена явно недостаточно.

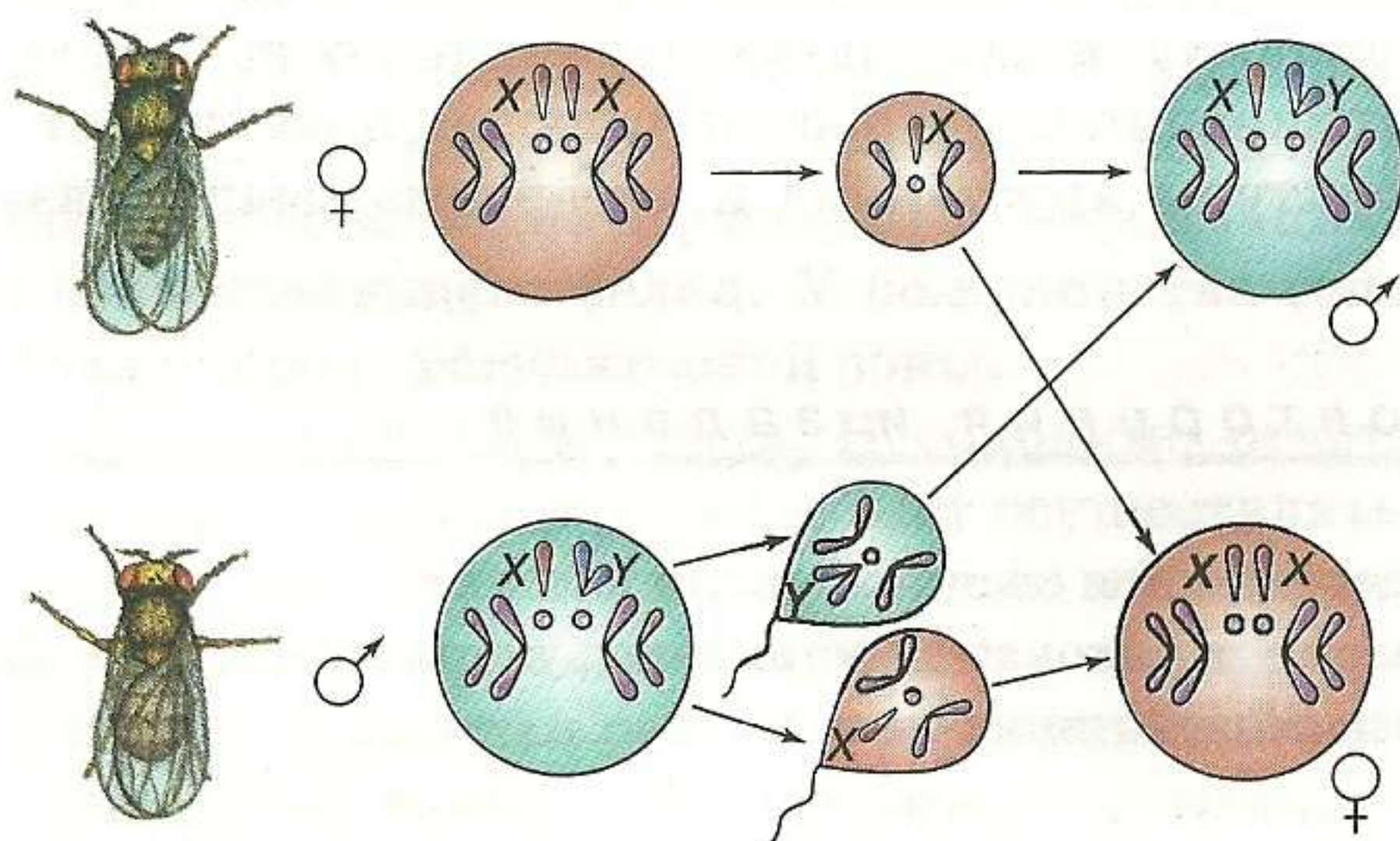


Рис. 74. Расщепление по признаку пола у дрозофилы

Хромосомное определение пола. Впервые подробно генетику пола изучил Т. Морган в опытах с дрозофилой. Ему удалось установить, что самцы и самки мухи дрозофилы отличаются по хромосомному набору. И у тех, и у других в клетках тела присутствовало по 8 хромосом, 6 из которых были одинаковы у самцов и у самок, а одна пара хромосом различалась у особей мужского и женского пола. Три пары хромосом, одинаковых у самца и самки, были названы *аутосомами*, а пара, которой женский пол отличался от мужского, — *половыми хромосомами*. В клетках тела самок дрозофил присутствуют две одинаковые половые хромосомы, которые обозначают XX , а в клетках самцов половые хромосомы разные — X и Y .

При образовании половых клеток в процессе мейоза в гамету попадает только одна хромосома из каждой пары. Все яйцеклетки, образующиеся у самки дрозофилы, получают X -хромосому из пары половых хромосом, т. е. все будут одного типа. Пол, который формирует гаметы одного типа по половым хромосомам, называют *гомогаметным* (от греч. *homos* — равный, одинаковый). В процессе сперматогенеза у самца дрозофилы с равной вероятностью будут образовываться гаметы двух типов, содержащие X - и Y -хромосомы, т. е. мужской пол у дрозофилы *гетерогаметный* (от греч. *heteros* — иной, другой) (рис. 74). При оплодотворении, если яйцеклетка сливается со сперматозоидом,

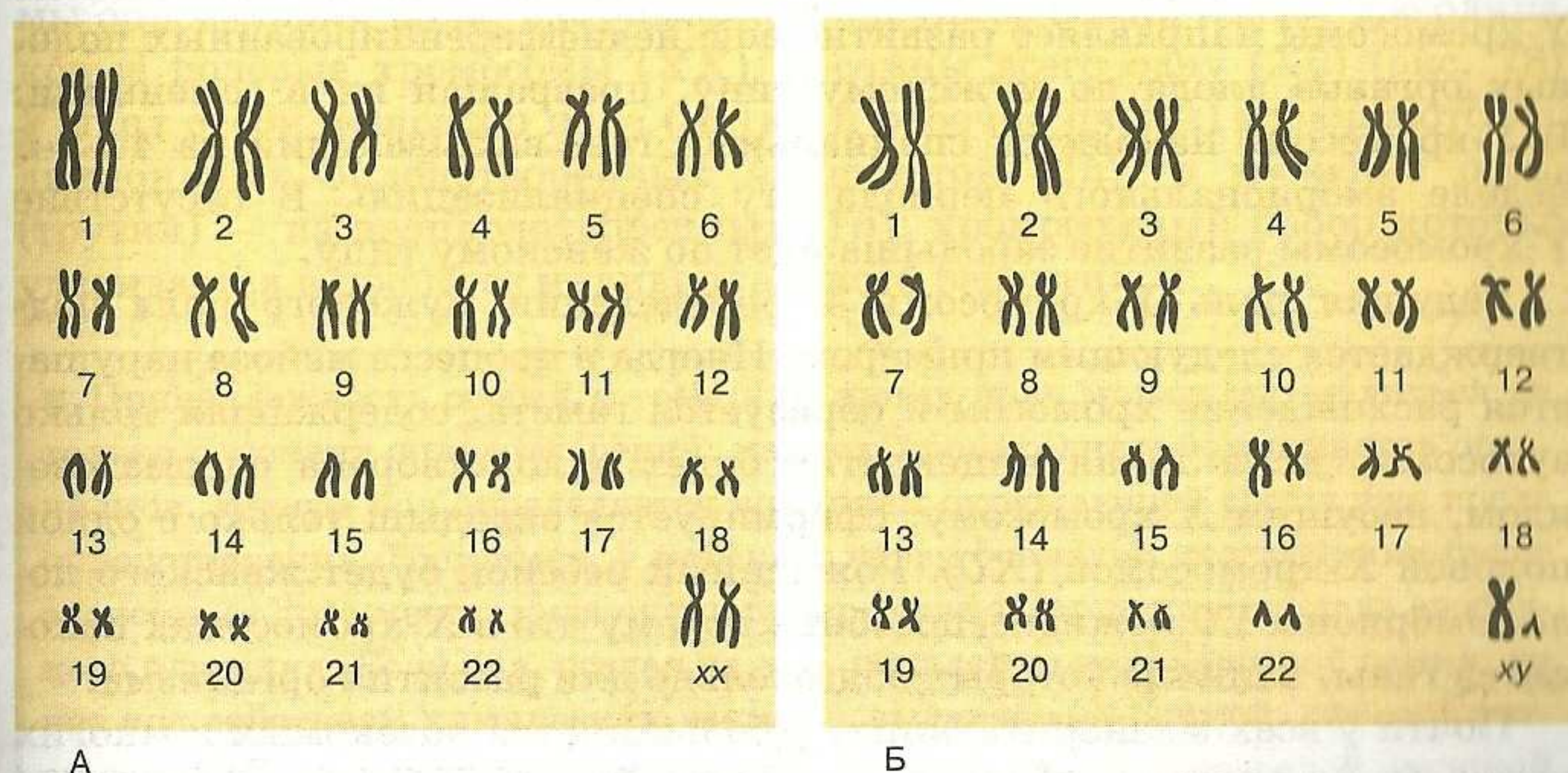


Рис. 75. Кариотипы человека: А — женский; Б — мужской

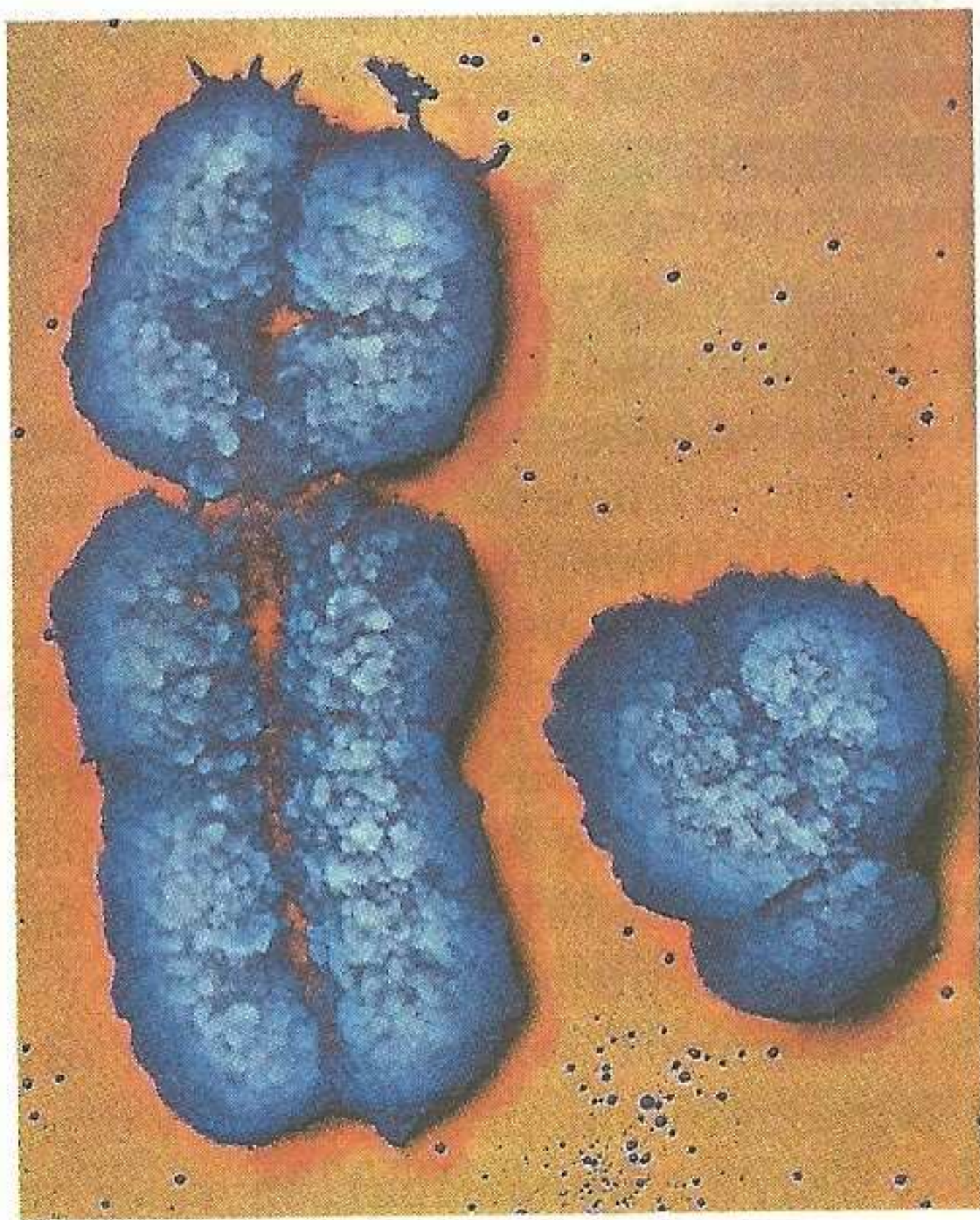


Рис. 76. Половые хромосомы человека: X и Y (электронная фотография)

содержащим X-хромосому, образуется пара половых хромосом XX и формируется самка. Если сперматозоид содержал Y-хромосому, то разовьется самец. Пол будущей особи определяется в момент оплодотворения и зависит от набора половых хромосом.

По такому же механизму определяется пол и у человека. На рис. 75 представлены мужской и женский кариотипы. Половые хромосомы у женщины одинаковы, их называют X-хромосомами, у мужчин имеется одна X-хромосома и одна Y-хромосома (рис. 76). Остальные 22 пары хромосом одинаковы у мужчин и у женщин, это аутосомы. Следовательно, пол младенца зависит от того, какой сперматозоид оплодотворит яйцеклетку (рис. 77).

Изначально зародыш человека бисексуален, однако присутствие Y-хромосомы направляет развитие еще недифференцированных половых органов плода по мужскому типу, превращая их в семенники. В Y-хромосоме находится специальный ген, вызывающий на 4—8-й неделе эмбрионального периода эту специализацию. В отсутствие Y-хромосомы развитие зародыша идет по женскому типу.

Ведущая роль Y-хромосомы в определении мужского пола подтверждается следующим примером. Иногда в процессе мейоза нарушается расхождение хромосом и образуется гамета, содержащая только аутосомы. Если такая яйцеклетка будет оплодотворена сперматозоидом, несущим X-хромосому, сформируется зародыш только с одной половой X-хромосомой (XO). Рожденный ребенок будет женского пола. Эмбрионы YO нежизнеспособны, потому что в X-хромосомах находятся гены, наличие которых обязательно для развития организма.

Почти у всех млекопитающих, у большинства насекомых и многих паукообразных женский пол гомогаметный (XX), а мужской гетерогаметный (XY). У птиц и бабочек гетерогаметным является женский пол

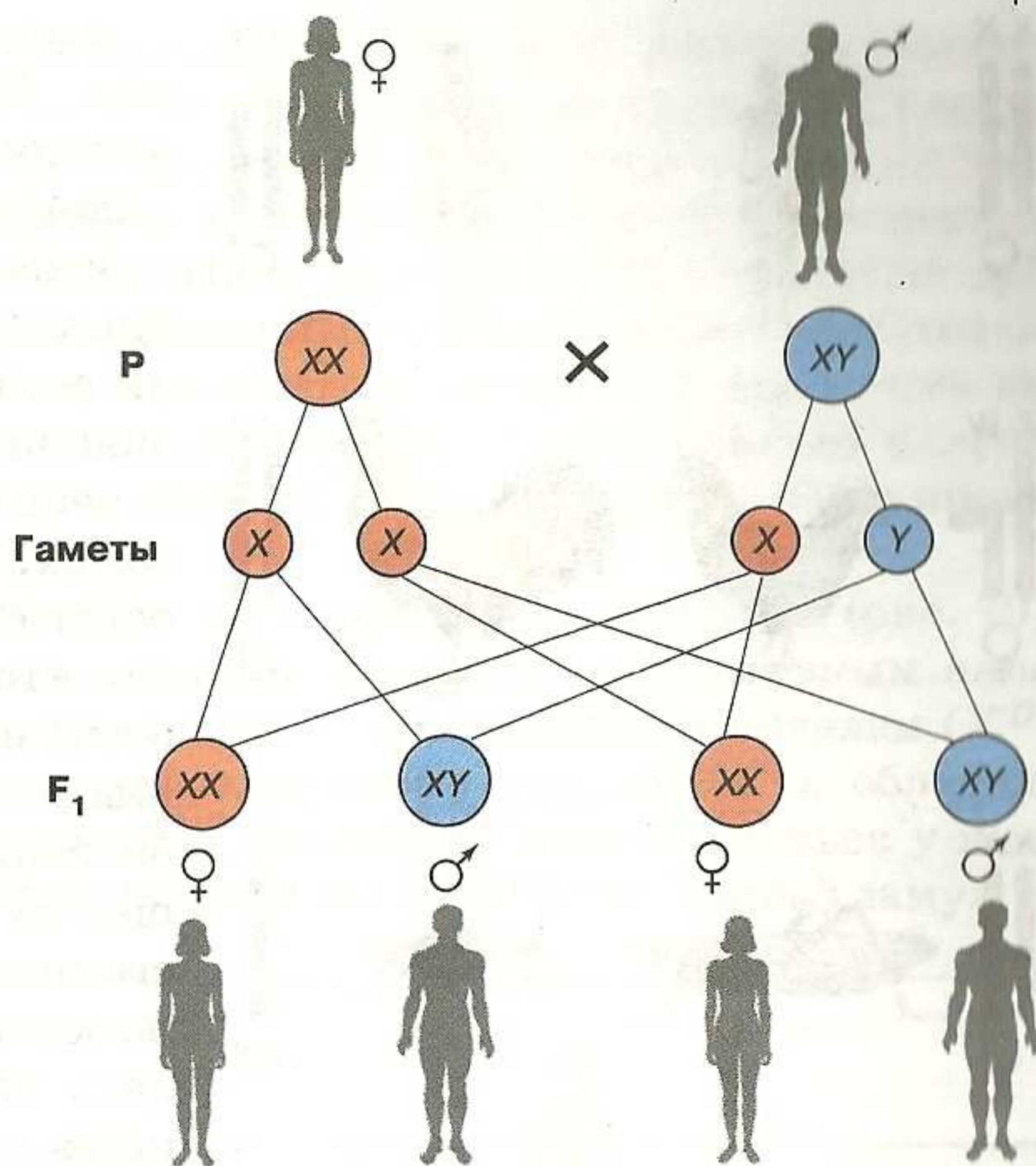


Рис. 77. Расщепление по признаку пола у человека

(ZW), а гомогаметным — мужской (ZZ). Существуют и иные механизмы определения пола, например у кузнечиков самки имеют две одинаковые половые хромосомы (XX), а самцы всего одну (X0) (рис. 78). У пчел особи женского пола (матки и рабочие пчелы) развиваются из диплоидных оплодотворенных яйцеклеток ($2n$), а мужские особи (трутни) — из неоплодотворенных ($1n$), хромосомный набор которых удваивается в процессе индивидуального развития. ■

■ Принадлежность особей к тому или иному полу может определяться не только в момент оплодотворения, как это происходит у большинства организмов. Иногда пол определяется влиянием окружающей среды уже после оплодотворения. Например, у морского червя боннелии пол личинки будет зависеть от того места, куда она попадет после завершения периода свободного плавания. Если она, оседая на дно, попадет на тело взрослой самки, из нее под действием химических веществ, выделяемых самкой, сформируется самец. Если личинка оседает на дно и рядом нет половозрелой женской особи, она превращается в самку.

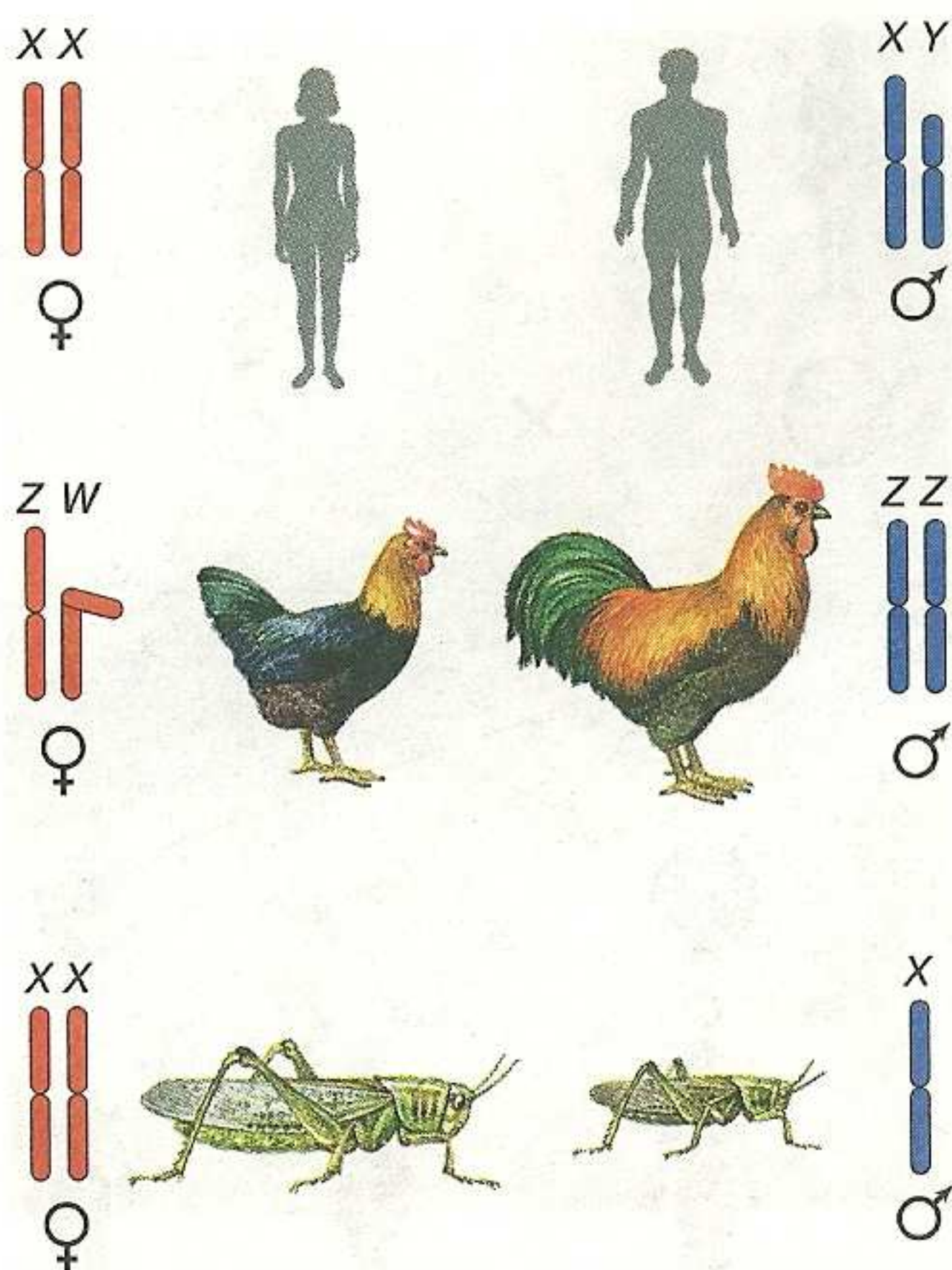


Рис. 78. Определение пола у разных видов организмов

Сцепленное с полом наследование. Половые хромосомы, как и аутосомы, содержат гены, определяющие развитие определенных признаков организма. Разбирая опыты Менделя, мы рассматривали особенности наследования признаков, гены которых находились в неполовых хромосомах — аутосомах. В этом случае наследование осуществлялось независимо от того, кто из родителей (мать или отец) имел тот или иной генотип. Мы могли в качестве женской особи взять растение гороха, выросшее из желтого семени, и опылить его пыльцой растения, выросшего из зеленой горошины, а могли сделать наоборот, и результат скрещивания остался бы неизменным. Однако ситуация кардинально меняется, если мы рассматриваем наследование признаков, гены ко-

торых находятся в половых хромосомах. Такое наследование называют *сцепленным с полом*.

Гены, расположенные в Y-хромосоме, передаются только по мужской линии, от отца к сыну, поэтому признаки, за которые они отвечают, у женщин отсутствуют. Кроме уже вышеупомянутого гена, отвечающего за дифференцировку половых желез, в Y-хромосоме находятся гены, которые контролируют раннее облысение, повышенную волосатость ушей, развитие перепонки между пальцами ног.

В X-хромосоме находится ген, определяющий свертываемость крови. Его рецессивный аллель вызывает тяжелое заболевание — гемофилию. Кроме этого в X-хромосоме находятся гены, влияющие на размер и форму зубов, развитие дальтонизма (неспособность различать зеленый и красный цвета), атрофию зрительного нерва и многие другие признаки. X-хромосома и Y-хромосома содержат разные гены, т. е. не являются гомологичными хромосомами, это и определяет особенность наследования признаков, сцепленных с полом.

Для того чтобы у женщины проявился признак, за развитие которого отвечает рецессивный аллель, локализованный в X -хромосоме, необходимо, чтобы обе X -хромосомы содержали такие рецессивные аллели. Наличие в одной из X -хромосом доминантного аллеля не позволит данному признаку сформироваться. Иное дело мужской гетерогаметный пол. Рецессивный аллель, расположенный в X -хромосоме, обязательно проявится в фенотипе, потому что в негомологичной Y -хромосоме нет доминантного аллеля, подавляющего действие рецессивного аллеля. Именно поэтому признаки, сцепленные с полом, гораздо чаще проявляются у мужчин.

Рассмотрим в качестве примера наследование дальтонизма (рис. 79).

Было установлено, что дальтонизм обусловлен рецессивным аллелем (X^d), нормальное цветоощущение — доминантным аллелем (X^D), поэтому женщины, гетерозиготные по этому гену ($X^D X^d$), обладали нормальным зрением. Рассмотрим, какие дети могут родиться у женщины — носительницы гена дальтонизма ($X^D X^d$), вышедшей замуж за

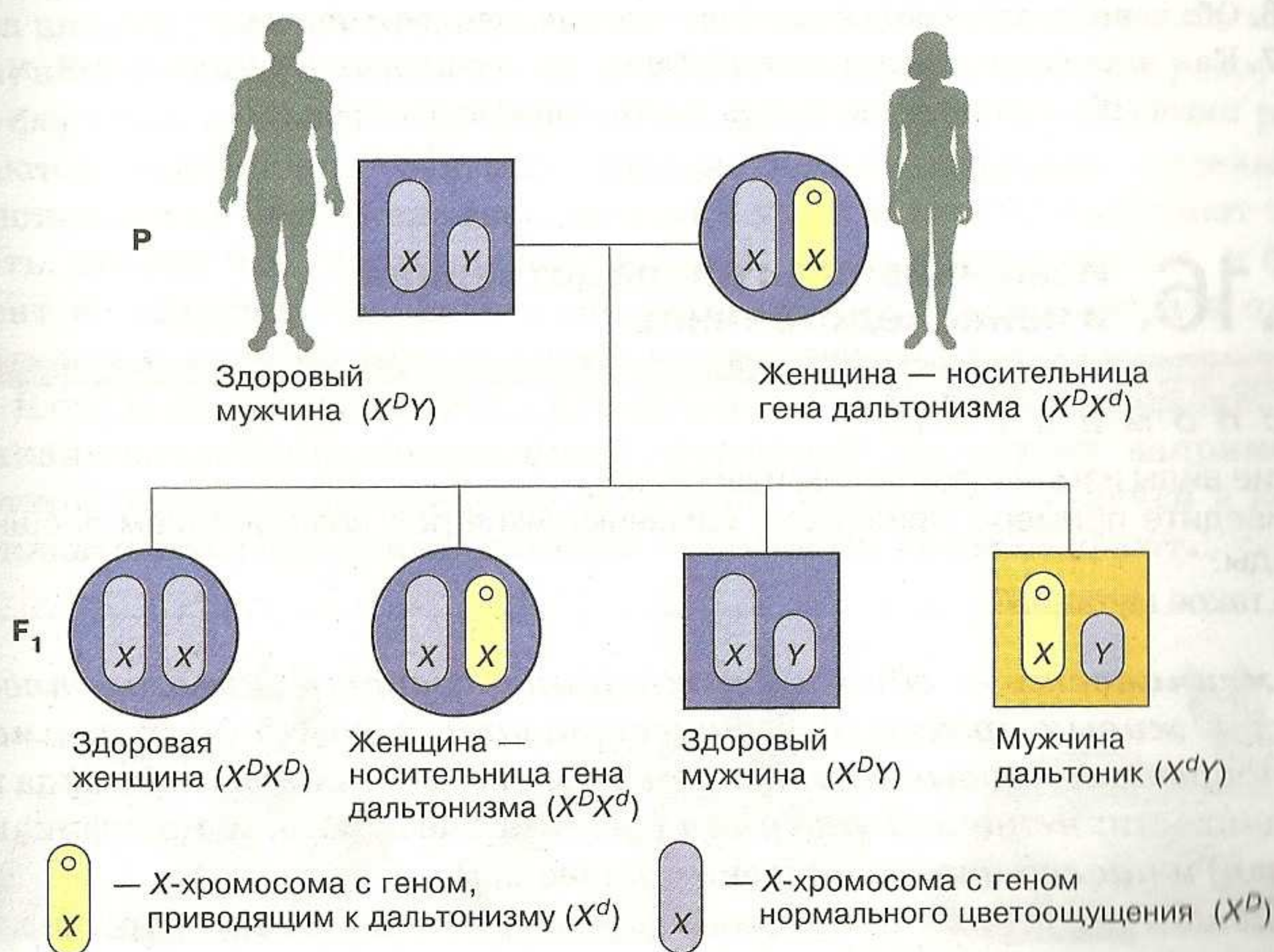


Рис. 79. Наследование дальтонизма

мужчину с нормальным цветоощущением ($X^D Y$). Женщина передаст половине своих сыновей и дочерей X -хромосому с геном дальтонизма (X^d), а половине — X -хромосому с геном нормального цветоощущения (X^D). В то же время все дочери получают от отца вторую X -хромосому с геном нормального цветовосприятия (X^D), поэтому у всех них будет нормальное зрение, но половина из них будет носительницами рецессивного гена дальтонизма, полученного от матери ($1 X^D X^D : 1 X^D X^d$). Все сыновья получают от отца Y -хромосому, и половина из них будет дальтониками ($1 X^D Y : 1 X^d Y$).

Вопросы для повторения и задания

1. Какие хромосомы называют половыми?
2. Что такое аутосомы?
3. Что такое гомогаметный и гетерогаметный пол?
4. Когда происходит генетическое определение пола у человека и чем это обусловлено?
5. Какие вам известны механизмы определения пола? Приведите примеры.
6. Объясните, что такое наследование, сцепленное с полом.
7. Как наследуется дальтонизм? Какое цветоощущение будет у детей, мать которых — дальтоник, а отец имеет нормальное зрение?

3.16. Изменчивость: наследственная и ненаследственная

Вспомните!

Какие виды изменчивости вам известны?

Приведите примеры признаков, изменяющихся под воздействием внешней среды.

Что такое мутации?

Изменчивость — одно из важнейших свойств живого, способность живых организмов существовать в различных формах, приобретать новые признаки и свойства. Различают два вида изменчивости: *ненаследственная* (фенотипическая, или модификационная) и *наследственная* (генотипическая).

Ненаследственная (модификационная) изменчивость. Этот вид изменчивости представляет собой процесс появления новых признаков

под влиянием факторов внешней среды, не затрагивающих генотип. Следовательно, возникающие при этом видоизменения признаков — модификации — по наследству не передаются (рис. 80). Два однояйцевых (монозиготных) близнеца, имеющие абсолютно одинаковые генотипы, но волею судьбы выросшие в разных условиях, могут сильно отличаться друг от друга. Классическим примером, доказывающим воздействие внешней среды на развитие признаков, является стрелолист. У этого растения развивается три вида листьев в зависимости от условий произрастания — на воздухе, в толще воды или на поверхности.

Под влиянием температуры окружающей среды изменяется окраска шерсти гималайского кролика. Эмбрион, развиваясь в утробе матери, находится в условиях повышенной температуры, которая разрушает фермент, необходимый для окраски шерсти, поэтому кролики рождаются совершенно белыми. Вскоре после рождения отдельные выступающие части тела (нос, кончики ушей и хвоста) начинают темнеть, потому что там температура ниже, чем в других местах, и фермент не разрушается. Если выщипать участок белой шерсти и охладить кожу, на этом месте вырастет черная шерсть (рис. 81).

В сходных условиях среды у генетически близких организмов модификационная изменчивость имеет *групповой характер*, например в летний период у большинства людей под влиянием УФ-лучей в коже откладывается защитный пигмент — меланин, люди загорают.

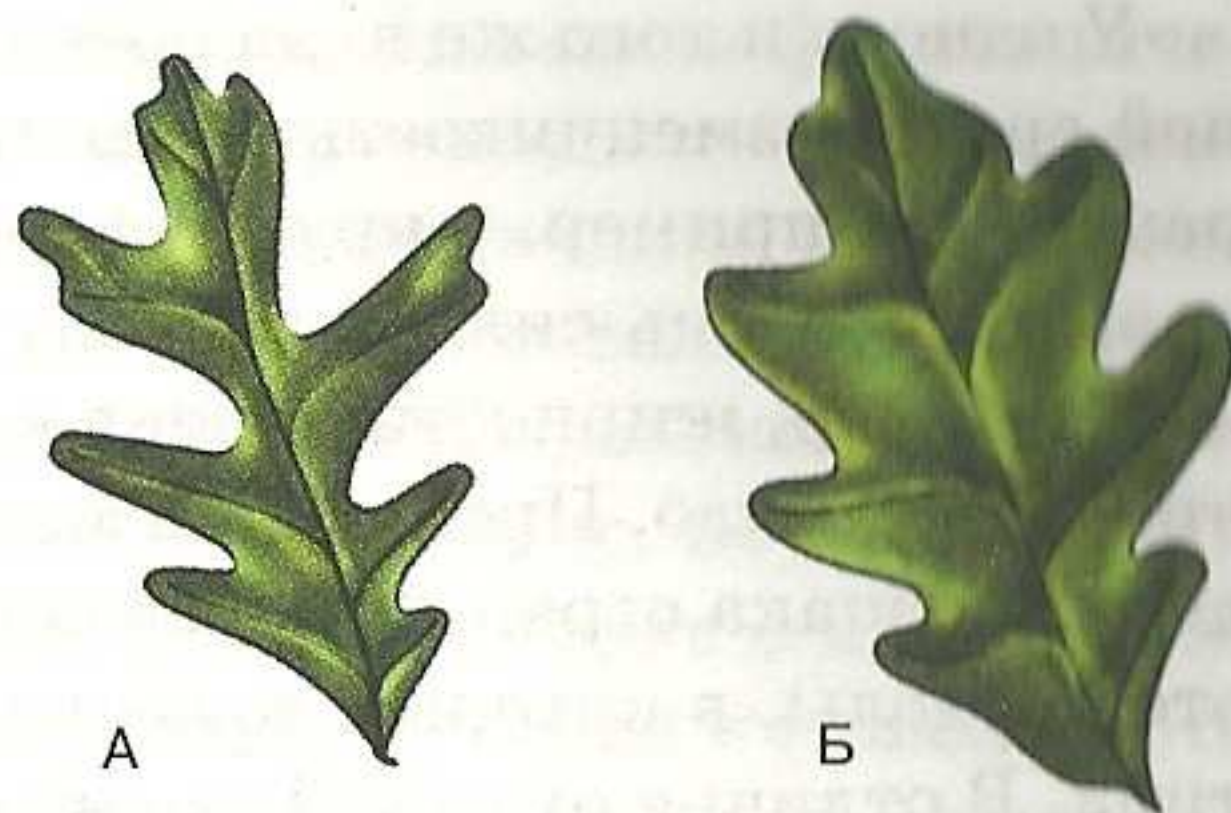


Рис. 80. Листья дуба, выросшие при яркой освещенности (А) и в затененном месте (Б)

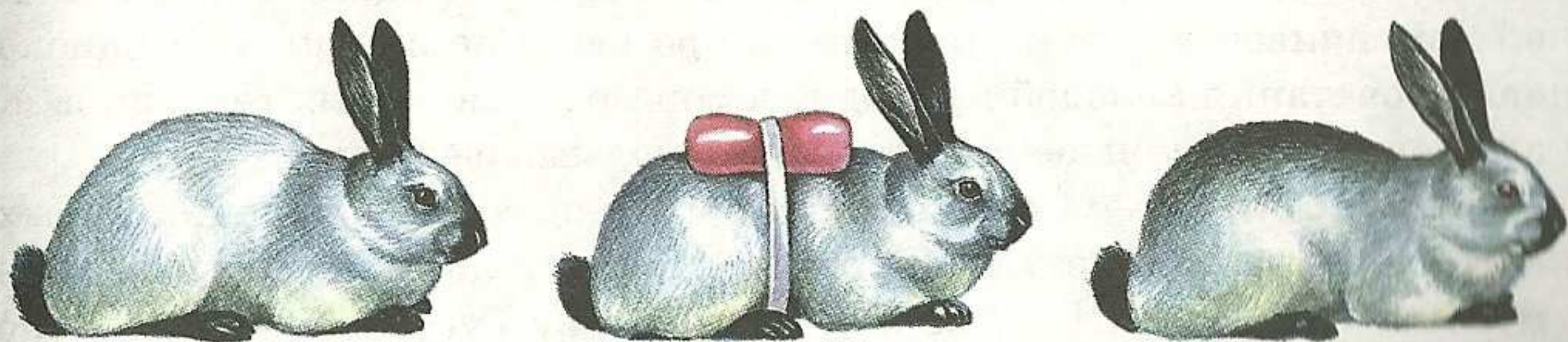


Рис. 81. Изменение окраски шерсти гималайского кролика под влиянием различных температур

У одного и того же вида организмов под воздействием условий внешней среды изменчивость различных признаков может быть абсолютно разной. Например, у крупного рогатого скота удои молока, масса, плодовитость очень сильно зависят от условий кормления и содержания, а, например, жирность молока под влиянием внешних условий изменяется очень мало. Проявления модификационной изменчивости для каждого признака ограничены своей нормой реакции. *Норма реакции* — это пределы, в которых возможно изменение признака у данного генотипа. В отличие от самой модификационной изменчивости норма реакции наследуется, и ее границы различны для разных признаков и у отдельных индивидов. Наиболее узкая норма реакции характерна для признаков, обеспечивающих жизненно важные качества организма.

Благодаря тому, что большинство модификаций имеют приспособительное значение, они способствуют адаптации — приспособлению организма в пределах нормы реакции к существованию в изменяющихся условиях.

Наследственная (генотипическая) изменчивость. Этот вид изменчивости связан с изменениями генотипа, и признаки, приобретенные вследствие этого, передаются по наследству следующим поколениям. Существует две формы генотипической изменчивости: комбинативная и мутационная.

Комбинативная изменчивость заключается в появлении новых признаков в результате образования иных комбинаций генов родителей в генотипах потомков. В основе этого вида изменчивости лежит независимое расхождение гомологичных хромосом в первом мейотическом делении, случайная встреча гамет у одной и той же родительской пары при оплодотворении и случайный подбор родительских пар. Также приводит к перекомбинации генетического материала и повышает изменчивость обмен участками гомологичных хромосом, происходящий в первой профазе мейоза. Таким образом, в процессе комбинативной изменчивости структура генов и хромосом не изменяется, однако новые сочетания аллелей приводят к образованию новых генотипов и, как следствие, к появлению потомков с новыми фенотипами.

Мутационная изменчивость выражается в появлении новых качеств организма в результате образования мутаций. Впервые термин «мутация» ввел в 1901 г. голландский ботаник Гуго де Фриз. Согласно современным представлениям *мутации* — это внезапные естественные или вызванные искусственно наследуемые изменения генетиче-

ского материала, приводящие к изменению тех или иных фенотипических признаков и свойств организма. Мутации имеют ненаправленный, т. е. случайный, характер и являются важнейшим источником наследственных изменений, без которых невозможна эволюция организмов. В конце XVIII в. в Америке родилась овца с укороченными конечностями, давшая начало новой анконской породе (рис. 82). В Швеции в начале XX в. на звероводческой ферме родилась норка с платиновой окраской меха. Огромное разнообразие признаков у собак и кошек — это результат мутационной изменчивости. Мутации возникают скачкообразно, как новые качественные изменения: из остистой пшеницы образовалась безостая, у дрозофилы появились короткие крылья и полосковидные глаза, у кроликов из естественной природной окраски агутти в результате мутаций возникла белая, коричневая, черная окраска.

По месту возникновения различают соматические и генеративные мутации. *Соматические мутации* возникают в клетках тела и не передаются при половом размножении следующим поколениям. Примерами таких мутаций являются пигментные пятна и бородавки кожи. *Генеративные мутации* появляются в половых клетках и передаются по наследству.

По уровню изменения генетического материала различают генные, хромосомные и геномные мутации. *Генные мутации* вызывают из-



Рис. 82. Овца анконской породы

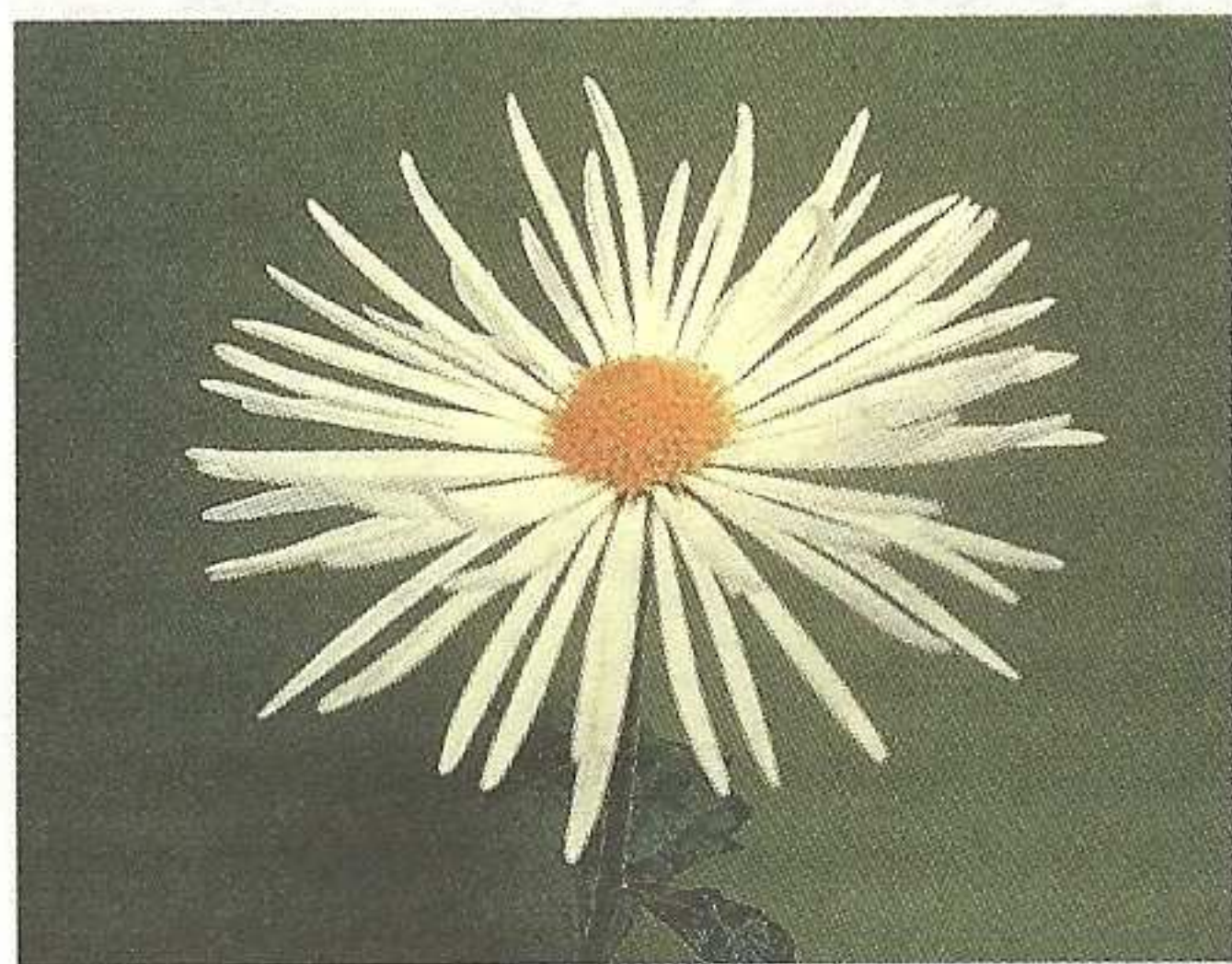
менения в отдельных генах, нарушая порядок нуклеотидов в цепи ДНК, что приводит к синтезу измененного белка.

Хромосомные мутации затрагивают значительный участок хромосомы, приводя к нарушению функционирования сразу многих генов. Отдельный фрагмент хромосомы может удвоиться или потерять-ся, что вызывает серьезные нарушения в работе организма, вплоть до гибели эмбриона на ранних стадиях развития.

Геномные мутации приводят к изменению числа хромосом в результате нарушений расхождения хромосом в делениях мейоза. Отсутствие хромосомы или наличие лишней приводит к неблагоприятным последствиям. Наиболее известным примером геномной мутации является синдром Дауна, нарушение развития, которое возникает при появлении лишней 21-й хромосомы. У таких людей общее количество хромосом равно 47.

У простейших и у растений часто наблюдается увеличение числа хромосом, кратное гаплоидному набору. Такое изменение хромосомного набора носит название *полиплоидия* (рис. 83). Возникновение полиплоидов связано, в частности, с нерасхождением гомологичных хромосом в мейозе, в результате чего у диплоидных организмов могут образовываться не гаплоидные, а диплоидные гаметы.

Мутагенные факторы. Способность мутировать — это одно из свойств генов, поэтому мутации могут возникать у всех организмов.



А



Б

Рис. 83. Полиплоидия. Цветки хризантемы: А — диплоидная форма ($2n$); Б — полиплоидная форма

Одни мутации несовместимы с жизнью, и получивший их эмбрион гибнет еще в утробе матери, другие вызывают стойкие изменения признаков, в разной степени значимые для жизнедеятельности особи. В обычных условиях частота мутирования отдельного гена чрезвычайно мала (10^{-5}), но существуют факторы среды, значительно увеличивающие эту величину, вызывая необратимые нарушения в структуре генов и хромосом. Факторы, воздействие которых на живые организмы приводит к увеличению числа мутаций, называют мутагенными факторами или мутагенами.

Все мутагенные факторы можно разделить на три группы.

Физическими мутагенами являются все виды ионизирующих излучений (γ -лучи, рентгеновские лучи), ультрафиолетовое излучение, высокая и низкая температуры.

Химические мутагены — это аналоги нуклеиновых кислот, перекиси, соли тяжелых металлов (свинца, ртути), азотистая кислота и некоторые другие вещества. Многие из этих соединений вызывают нарушения в редупликации ДНК. Мутагенное действие оказывают вещества, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями и сорняками (пестициды и гербициды), отходы промышленных предприятий, отдельные пищевые красители и консерванты, некоторые лекарственные препараты, компоненты табачного дыма.

В России и в других странах мира созданы специальные лаборатории и институты, проверяющие на мутагенность все новые синтезированные химические соединения.

К группе *биологических мутагенов* относят чужеродную ДНК и вирусы, которые, встраиваясь в ДНК хозяина, нарушают работу генов.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие виды изменчивости вам известны?
2. Что такое норма реакции?
3. Почему фенотипическая изменчивость не передается по наследству?
4. Что такое мутации? Охарактеризуйте основные свойства мутаций.
5. Приведите классификацию мутаций по уровню изменений наследственного материала.
6. Назовите основные группы мутагенных факторов. Приведите примеры мутагенов, относящихся к каждой группе.

3.17. Генетика и здоровье человека

Вспомните!

Что такое мутагены?

Какие наследственные заболевания вам известны?

Генетика и медицина. Современная генетика человека, основываясь на законах классической генетики, изучает явления наследственности и изменчивости на всех уровнях организации: молекулярном, клеточном, организменном и популяционном. В последнее время выявлено, что у большинства людей в течение жизни проявляются те или иные наследственные заболевания, связанные с нарушением структуры наследственного материала. Изучение молекулярной природы подобных изменений, анализ закономерностей их наследования и распространения в популяциях человека, выяснение влияния мутагенных факторов на здоровье — эти важнейшие задачи генетика человека решает в тесном сотрудничестве с медициной. Проблема здоровья людей и генетика тесно взаимосвязаны. Ежегодно в нашей стране рождается около 200 тыс. детей с наследственными заболеваниями, что сравнимо с численностью жителей областного центра. Причем количество видов этих заболеваний с каждым годом увеличивается. В 1986 г. было известно около 2 тыс. наследственных патологических состояний, а спустя несколько лет, в 1992 г., их количество возросло уже до 5 тыс. Причина этого роста двояка. С одной стороны, совершенствование методов молекулярно-генетической диагностики позволяет выявлять наследственную причину заболеваний, ранее не относимых к этой категории. С другой стороны, бурное развитие науки и техники приводит к интенсивному накоплению в окружающей среде разнообразных мутагенов, способных наносить вред здоровью не только современного человека, но и будущих поколений людей.

Влияние мутагенов на организм человека. Воздействие на живой организм различных мутагенных факторов приводит к возникновению мутаций, которые оказывают, как правило, неблагоприятное влияние на жизнедеятельность как отдельных клеток, так и всего организма в целом.

Мутации, которые возникают в соматических клетках тела, вызывают преждевременное старение, сокращают продолжительность жизни, а также, в зависимости от места возникновения, влияют на оп-

ределенные жизненно важные функции организма. *Соматические мутации* представляют очень серьезную угрозу здоровью населения, так как это первый шаг к образованию злокачественных опухолей. Подавляющее число всех случаев заболевания раком молочной железы — результат соматических мутаций.

Под влиянием мутагенов количество изменений наследственного материала резко увеличивается. После аварии на Чернобыльской АЭС в результате радиационного воздействия частота заболеваний раком щитовидной железы в Гомельской области возросла в 20 раз. Избыточное ультрафиолетовое излучение повышает риск возникновения рака кожи.

Сочетание нескольких мутагенных факторов значительно усиливает их негативный эффект воздействия на организм. Известно, что при радиационном облучении риск заболеть раком гораздо выше у курящих людей. ■

Генеративные мутации, т. е. нарушения структуры ДНК в половых клетках, могут приводить к спонтанным абортам (выкидышам), мертворождению и к увеличению частоты наследственных заболеваний. Причем, если эти мутации не вызывают гибели организма и не ведут к серьезным нарушениям репродуктивной функции, они будут передаваться из поколения в поколение, постепенно увеличивая частоту встречаемости в популяции.

После Чернобыльской катастрофы в районах, подвергшихся максимальному загрязнению радионуклидами, почти в 2 раза увеличилась частота рождения детей с аномалиями развития (расщелины губы и нёба, удвоение почек и мочеточников, полидактилия, нарушения развития головного мозга и др.).

Наследственные болезни человека. Причиной наследственных

■ В дыму содержится более 4 тыс. химических соединений, из которых около 40 относятся к канцерогенам, а 10 активно способствуют развитию раковых заболеваний.

Компоненты табачного дыма разделяются на твердые и газообразные. К первым относят никотин — компонент, вызывающий физическое привыкание, смолу (табачный деготь), свинец, мышьяк, ртуть, цезий, золото и другие элементы таблицы Менделеева.

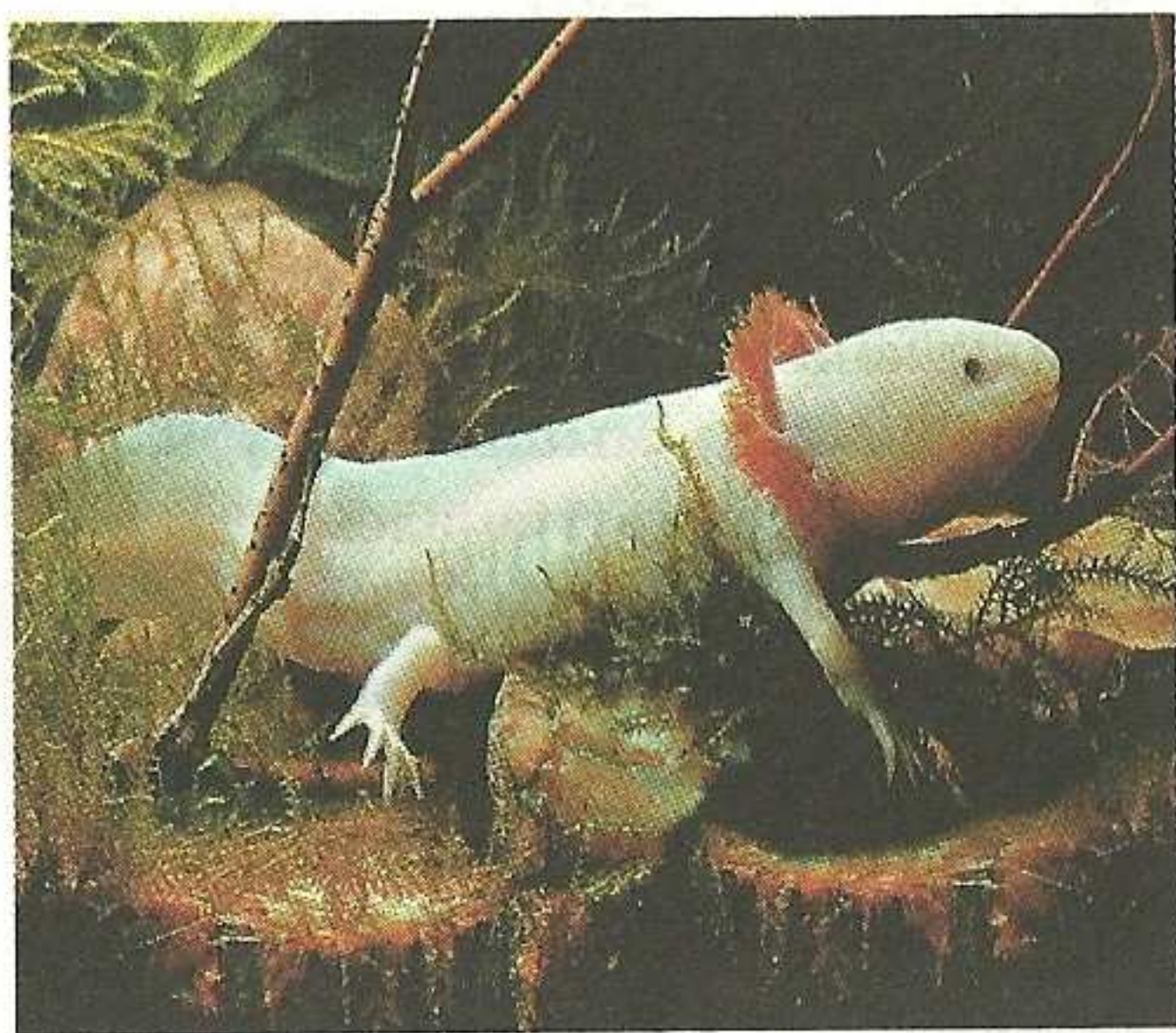
С твердыми компонентами более-менее успешно справляются сигаретные фильтры, а вот от угарного и углекислого газа, аммония, цианистого водорода и других вредных веществ в газообразном состоянии фильтры не спасают.

заболеваний человека могут быть генные, хромосомные и геномные мутации.

Генные болезни. Эти болезни возникают в результате мутации в одном гене, что приводит к изменению структуры или количества белка. Как правило, эти заболевания ведут к нарушению обмена веществ. В зависимости от расположения мутантного гена выделяют болезни аутосомного и сцепленного с полом наследования.

Рассмотрим несколько наиболее часто встречающихся аутосомных болезней. *Фенилкетонурия* — рецессивное заболевание, которое возникает в результате мутации гена, расположенного в 12-й хромосоме, и приводит к накоплению в организме человека избытка аминокислоты — фенилаланина. При отсутствии строгой диеты, исключающей продукты, содержащие фенилаланин, у ребенка может развиваться умственная отсталость. К рецессивным болезням относится *альбинизм* — врожденное отсутствие пигментации кожи, волос и радужки глаз (рис. 84). Мутация, приводящая к изменению структуры молекулы гемоглобина, вызывает *серповидноклеточную анемию*. В крови таких больных обнаруживаются эритроциты серповидной формы, не способные нормально переносить кислород (рис. 85).

Примером заболеваний, которые наследуются сцеплено с полом, может служить одна из форм *гемофилии* — нарушение свертываемости крови (§ 3.15).



А



Б

Рис. 84. Мутация, вызывающая отсутствие пигментации, — альбинизм — встречается у многих видов живых организмов: А — аксолотль; Б — мышь

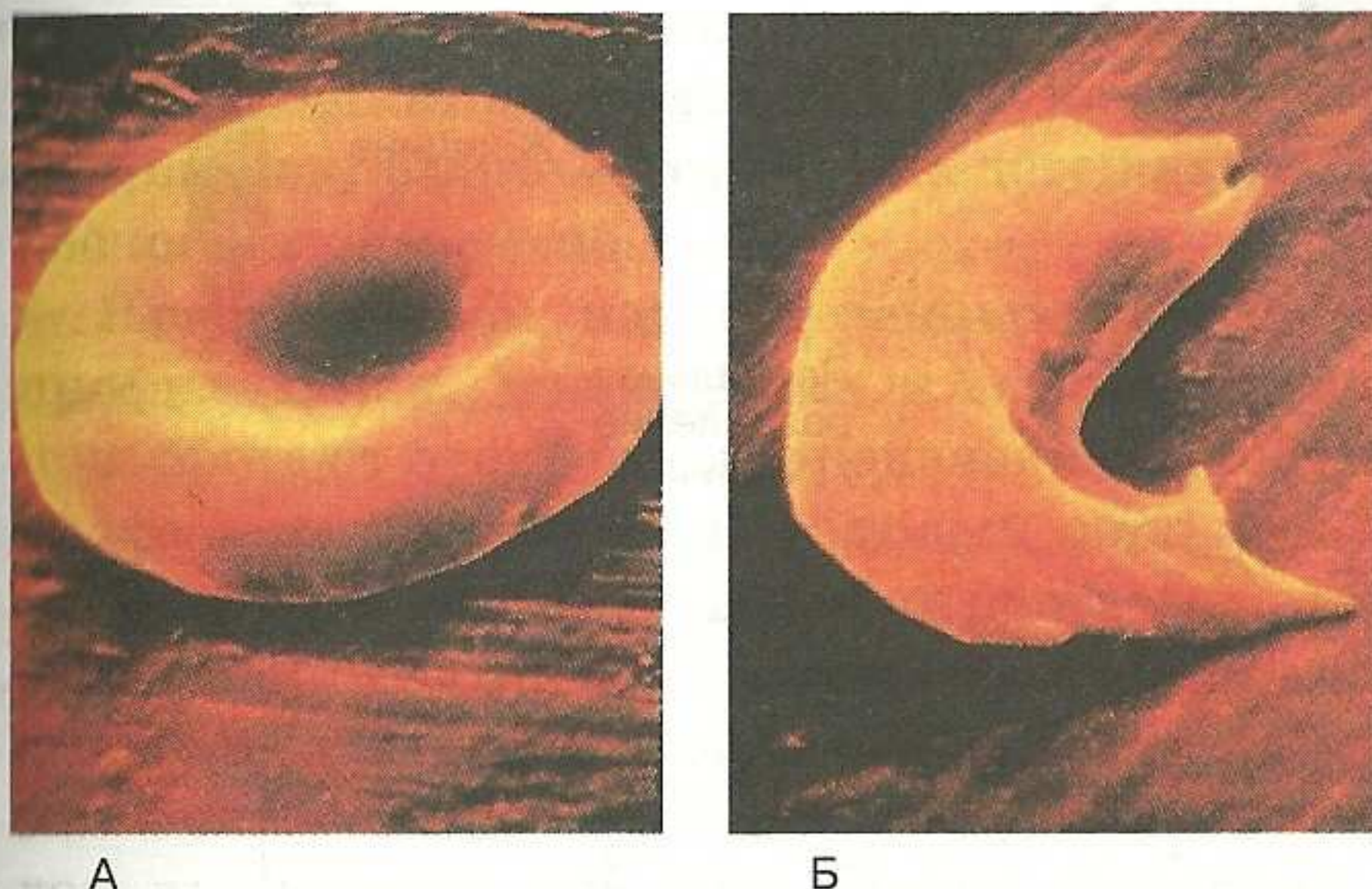


Рис. 85. Эритроциты человека: А — нормальные; Б — при серповидноклеточной анемии

Хромосомные болезни. К хромосомным относят болезни, обусловленные геномными мутациями или структурными изменениями отдельных хромосом. В настоящее время у человека известно более 700 подобных заболеваний.

Изменения количества хромосом, как правило, возникают в результате нерасхождения гомологичных хромосом в процессе образования половых клеток одного из родителей и вызывают серьезные нарушения развития (рис. 86). Самой распространенной патологией такого рода является *болезнь (синдром) Дауна* (§ 3.16). Лишняя 13-я хромосома приводит к развитию *синдрома Патау*, который характеризуется столь тяжелыми отклонениями в развитии, что 95% больных детей умирает в первый год жизни. Дополнительная X-хромосома у мужчин (XXY) вызывает развитие *синдрома Клайнфельтера*, который выражается в бесплодии, женском типе скелета (широкий таз, узкие плечи), умственной отсталости. Отсутствие одной X-хромосомы у женщин (XO) приводит к развитию *синдрома Шерешевского—Тернера*. Женщины, имеющие такой хромосомный набор, бесплодны, имеют широкую грудную клетку, короткую шею и рост, в среднем, не более 150 см. Интересно, что женщины с лишней X-хромосомой (XXX) не имеют практически никаких физических отличий от здоровых женщин, однако у них чаще наблюдаются отклонения в поведении и трудности в обучении.

Самой известной хромосомной мутацией является утрата фрагмента 5-й хромосомы, которая приводит к развитию *синдрома «кошачьего*

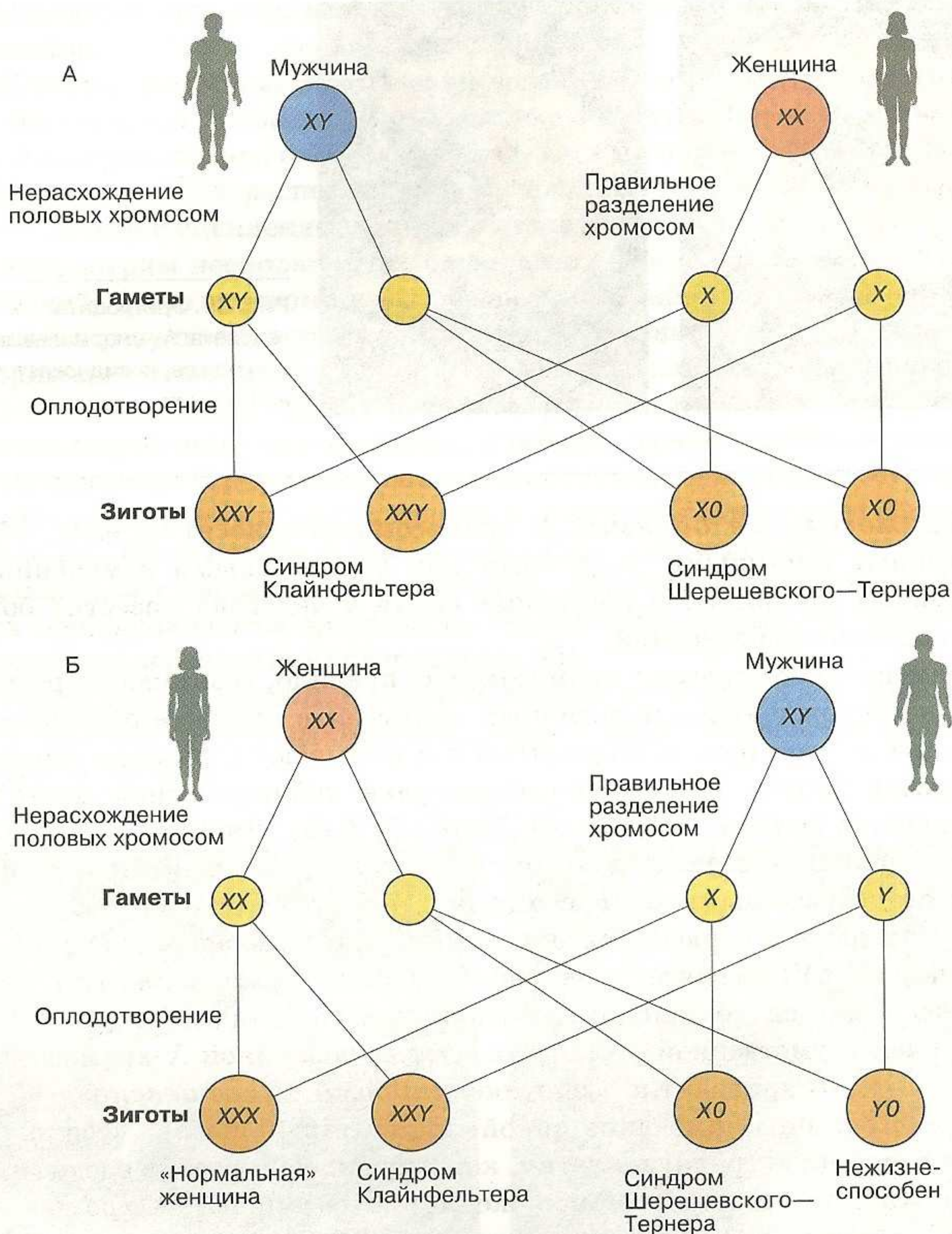


Рис. 86. Синдром Клайнфельтера и синдром Шерешевского—Тернера как результат нерасхождения отцовских половых хромосом (А) и нерасхождения материнских половых хромосом (Б)

крика». Признаком его служит необычный плач, напоминающий мяуканье кошки, что связано с нарушением строения гортани и голосовых связок. Кроме того, у таких детей наблюдается умственное и физическое недоразвитие.

Профилактика наследственных заболеваний. В настоящее время профилактика, диагностика и лечение наследственных заболеваний приобретают очень большое значение. Наиболее эффективным методом профилактики является *здоровый образ жизни* будущих родителей.

Значительно снизить вероятность возникновения наследственных заболеваний позволяет *медико-генетическое консультирование*. Главная задача такого консультирования заключается в прогнозировании появления детей с той или иной наследственной аномалией. Поводом для консультирования могут стать близкородственные браки, работа супругов на вредном предприятии или наличие родственников, имеющих наследственные заболевания. При наличии в семье наследственных заболеваний врач-консультант составляет подробную родословную, на основании которой часто можно определить тип наследования данного заболевания и рассчитать вероятность рождения больного ребенка.

Если в консультацию обращается супружеская пара, у которой уже родился ребенок с наследственной патологией, работа начинается с постановки точного диагноза, после чего подсчитывается величина риска рождения второго больного ребенка. Современные методы позволяют исследовать генотипы родителей с целью обнаружения конкретной мутации.

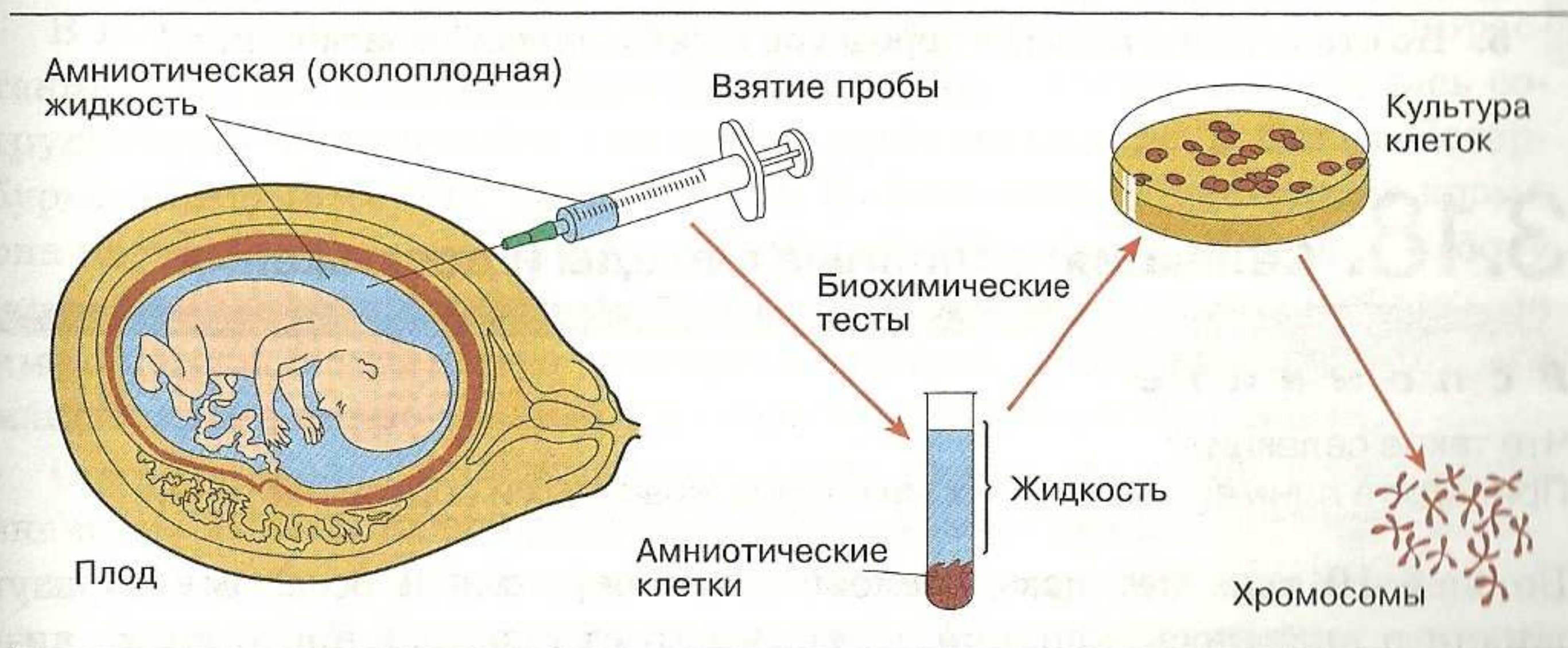


Рис. 87. Схема анализа околоплодной жидкости

Эффективность консультирования значительно возрастает благодаря использованию современных методов дородовой (пренатальной) диагностики. Ультразвуковое обследование плода, взятие крови из пуповины и анализ околоплодной жидкости, в которой всегда есть клетки эмбриона и продукты его метаболизма, позволяют на ранних этапах беременности обнаружить наследственные заболевания (рис. 87). Если диагностируется болезнь, способы лечения которой на сегодняшний день не разработаны, родители могут принять решение о прерывании беременности.

В настоящее время риск рождения детей с наследственными заболеваниями может быть значительно снижен с помощью генетического консультирования и пренатальной диагностики. Применение лекарственных препаратов, корректирующих нарушенную функцию, или соблюдение определенной диеты, как в случае фенилкетонурии, позволяют компенсировать проявление многих мутаций. Последние достижения *генной терапии* по введению в клетки больного нормальной копии поврежденного гена позволяют надеяться, что проблема лечения многих наследственных заболеваний в будущем будет решена.

Вопросы для повторения и задания

1. Как влияют соматические мутации на здоровье людей?
2. Каковы последствия возникновения генеративных мутаций?
3. Назовите известные вам наследственные заболевания человека. Каковы их причины?
4. Какова главная задача медико-генетического консультирования?
5. Что относится к методам дородовой (пренатальной) диагностики?

3.18. Селекция: основные методы и достижения

Вспомните!

Что такое селекция?

Приведите примеры известных вам пород животных и сортов растений.

Больше 10 тыс. лет назад человечество перешло к оседлому образу жизни и оказалось в полной зависимости от ограниченного числа видов растений и животных, которые оно могло использовать в качестве

своих пищевых и хозяйственных ресурсов. Возникла насущная необходимость улучшать качества культивируемых растений и домашних животных, т. е. заниматься селекцией. *Селекция* (от лат. *selectio* — отбор) — наука о создании новых и улучшении существующих сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов. Одновременно под селекцией понимают и сам процесс создания сортов, пород и штаммов. Теоретической основой селекции является генетика.

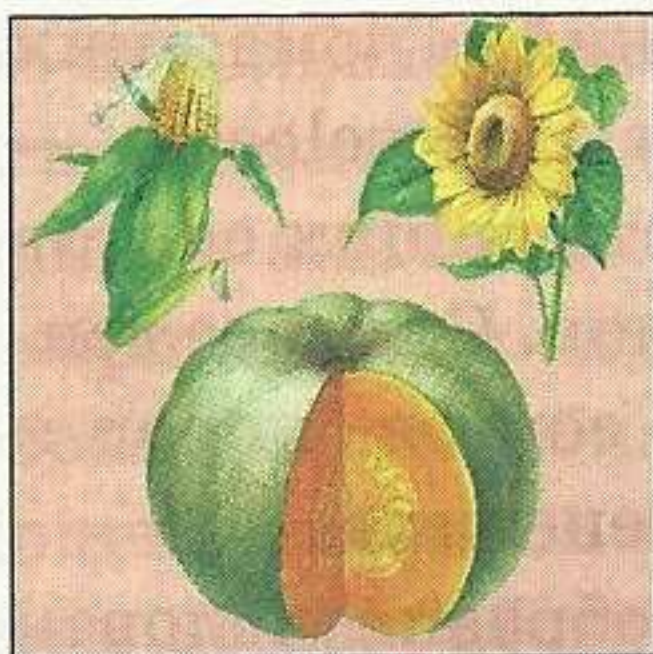
В настоящее время из всего растительного многообразия человек возделывает в качестве культурных растений около 150 видов, а из многих десятков тысяч видов позвоночных животных человек одомашнил лишь около 20.

Центры происхождения культурных растений. Большой вклад в изучение происхождения культурных растений внес выдающийся российский генетик и селекционер Николай Иванович Вавилов. Совершив в начале XX в. более 60 экспедиций по всему миру, Вавилов с коллегами обнаружил, что в определенных районах земного шара сконцентрировано наибольшее разнообразие сортов того или иного культурного растения. Например, для картофеля максимум генетического разнообразия связан с Южной Америкой, больше всего сортов риса было обнаружено в Китае и Японии, а кукурузы — в Мексике. Проанализировав результаты поездок, Вавилов пришел к выводу, что районы максимального разнообразия являются центрами происхождения данной культуры и, как правило, связаны с древними очагами земледельческих цивилизаций. Вавилов выделил семь основных таких центров (рис. 88).

В ходе экспедиций была собрана уникальная коллекция семян растений, которая в дальнейшем постоянно пополнялась и изучалась сотрудниками Всесоюзного института растениеводства в Санкт-Петербурге, который сейчас носит имя Н. И. Вавилова. В настоящее время она насчитывает более 300 тыс. видов, сортов и форм. Начиная работу по созданию нового сорта растений, селекционер может подобрать из имеющегося богатейшего исходного материала те образцы, которые максимально полно обладают интересующими его признаками.

Сорт и порода. В современных условиях развития общества важное значение имеет интенсификация сельскохозяйственного производства, т. е. получение максимального количества продукции при минимальных затратах. С этой целью создаются высокопродуктивные породы животных и сорта растений, устойчивые к экстремальным условиям

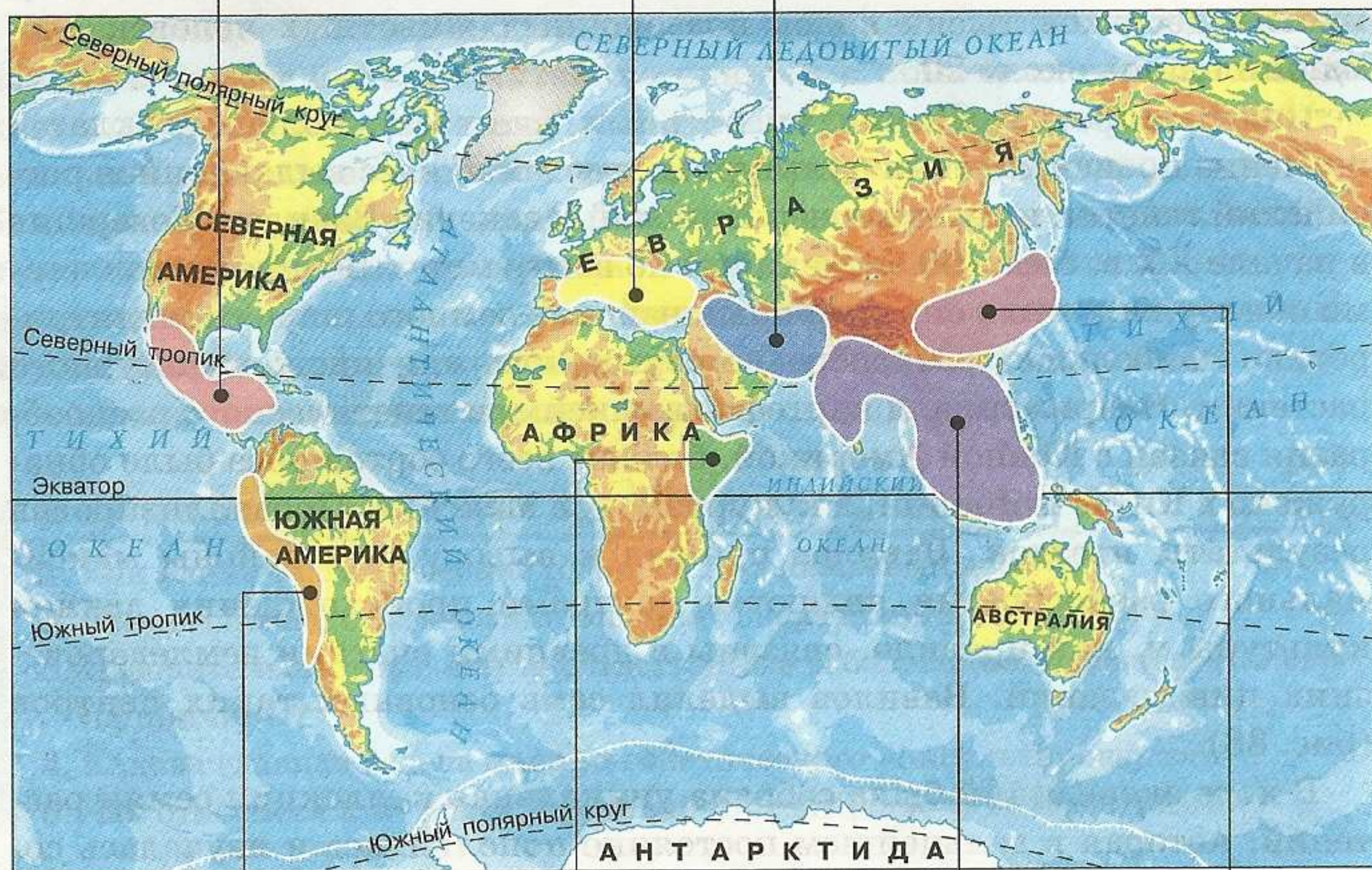
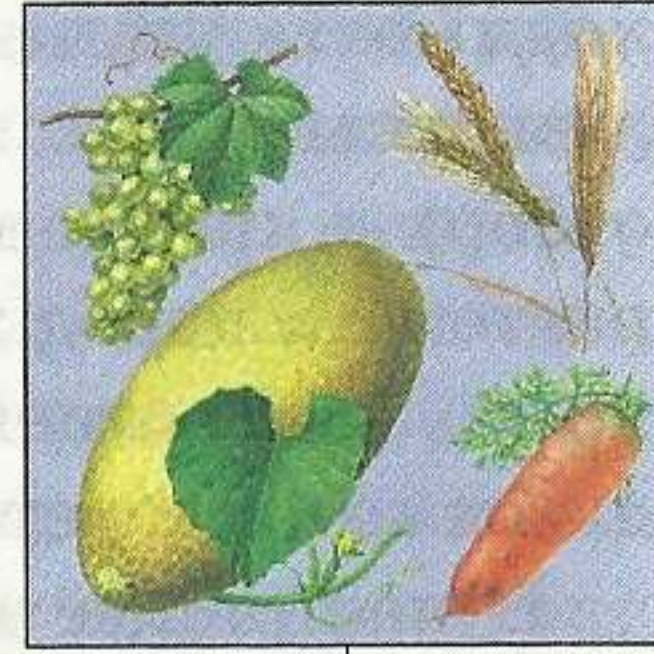
Центральноамериканский



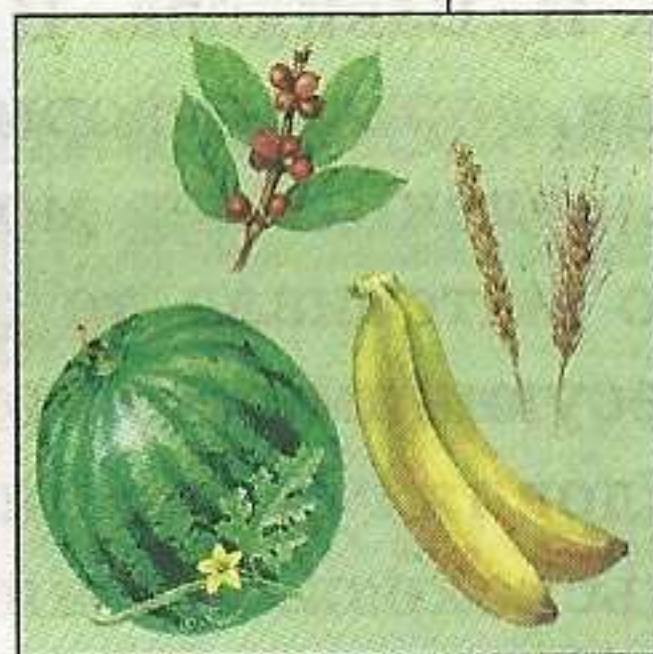
Средиземноморский



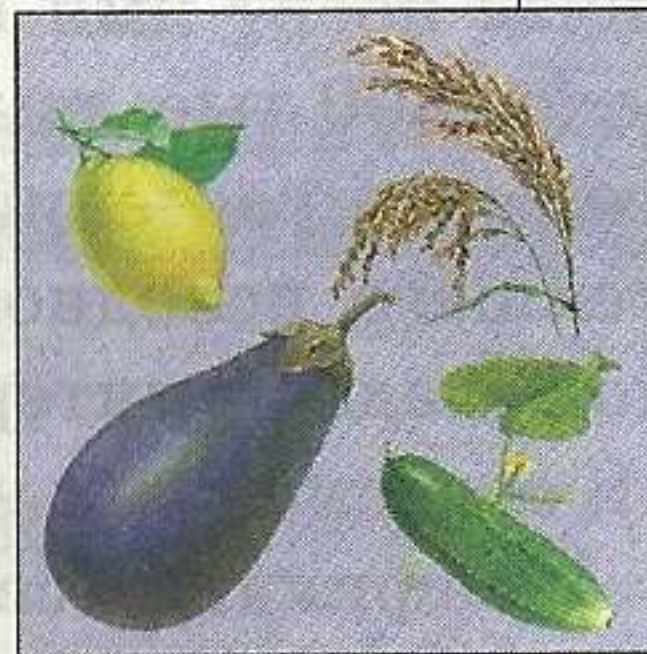
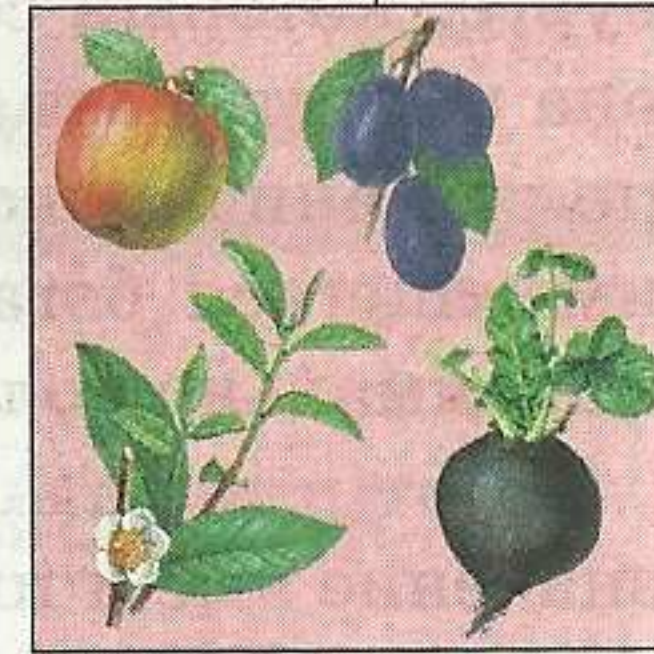
Юго-югоазиатский



Южноамериканский



Абиссинский

Южноазиатский
тропический

Восточноазиатский

Рис. 88. Центры происхождения культурных видов растений (по Н. И. Вавилову)

среды, к болезням и вредителям, обладающие определенными необходимыми качествами (рис. 89). *Порода, сорт или штамм — это совокупность особей одного вида, искусственно созданная человеком и характеризующаяся определенными наследственными свойствами.* Все организмы, составляющие такую совокупность, обладают сходными, наследственно закрепленными морфологическими и физиологическими свойствами и способны максимально проявлять свои качества в тех условиях, для которых они были созданы. Такса может быть прекрасной норной охотничьей собакой, но в качестве гончей ее использовать нецелесообразно. Точно так же борзая, легко настигающая зайца, будет плохим охранником по сравнению с немецкой овчаркой.

Создавая определенные породы животных, мы часто обрекаем их на необходимость постоянного сосуществования с человеком. Корова,



Рис. 89. Породы крупного рогатого скота

дающая 10 тыс. литров молока в год, погибнет в течение нескольких дней, если ее не будут доить.

Основные методы селекции. Основными методами селекции являются отбор и гибридизация.

Отбор. Отбор бывает массовым и индивидуальным. *Массовый отбор* проводится по внешним, фенотипическим признакам и, как правило, используется в растениеводстве при работе с перекрестноопыляющимися растениями (рожь, кукуруза, подсолнечник и др.). Из огромного количества растений отбирается группа лучших по определенным свойствам растений. Их семена на следующий год высевают и из полученного потомства вновь отбирают лучшие растения, семенами которых засевают новое поле. Если продуктивность и другие признаки популяции улучшились, можно считать, что массовый отбор по фенотипу был эффективен. Таким способом выведены многие сорта культурных растений.

В отличие от массового при *индивидуальном отборе* выбирают отдельных особей и потомство каждой из них изучают в ряду поколений. Это позволяет достаточно точно оценить генотип каждого родительского организма и выбрать для дальнейшей работы те особи, которые оказываются наиболее оптимальными по сочетанию полезных для человека признаков и свойств. Сорта и породы, получаемые в результате индивидуального отбора, отличаются высокой однородностью и постоянством признаков (рис. 90).

Гибридизация. Наряду с отбором важным методом селекции является гибридизация (скрещивание). Различают внутривидовую и межвидовую (отдаленную) гибридизации.

В основе *внутривидовой гибридизации* лежит направленное скрещивание особей, обладающих определенными свойствами, с целью получения потомства с максимальным проявлением этих качеств. Например, один сорт растений обладает высокой продуктивностью, но легко заражается грибковыми болезнями, а другой, обладая высокой устойчивостью к заболеваниям, производит гораздо меньше семян. Скрещивая эти два сорта, в потомстве можно получить различные сочетания признаков, среди которых будут высокопродуктивные и одновременно устойчивые к заражению растения.

Отдаленная гибридизация заключается в скрещивании разных видов. В растениеводстве с помощью отдаленной гибридизации создана новая зерновая культура — тритикале, гибрид ржи с пшеницей.

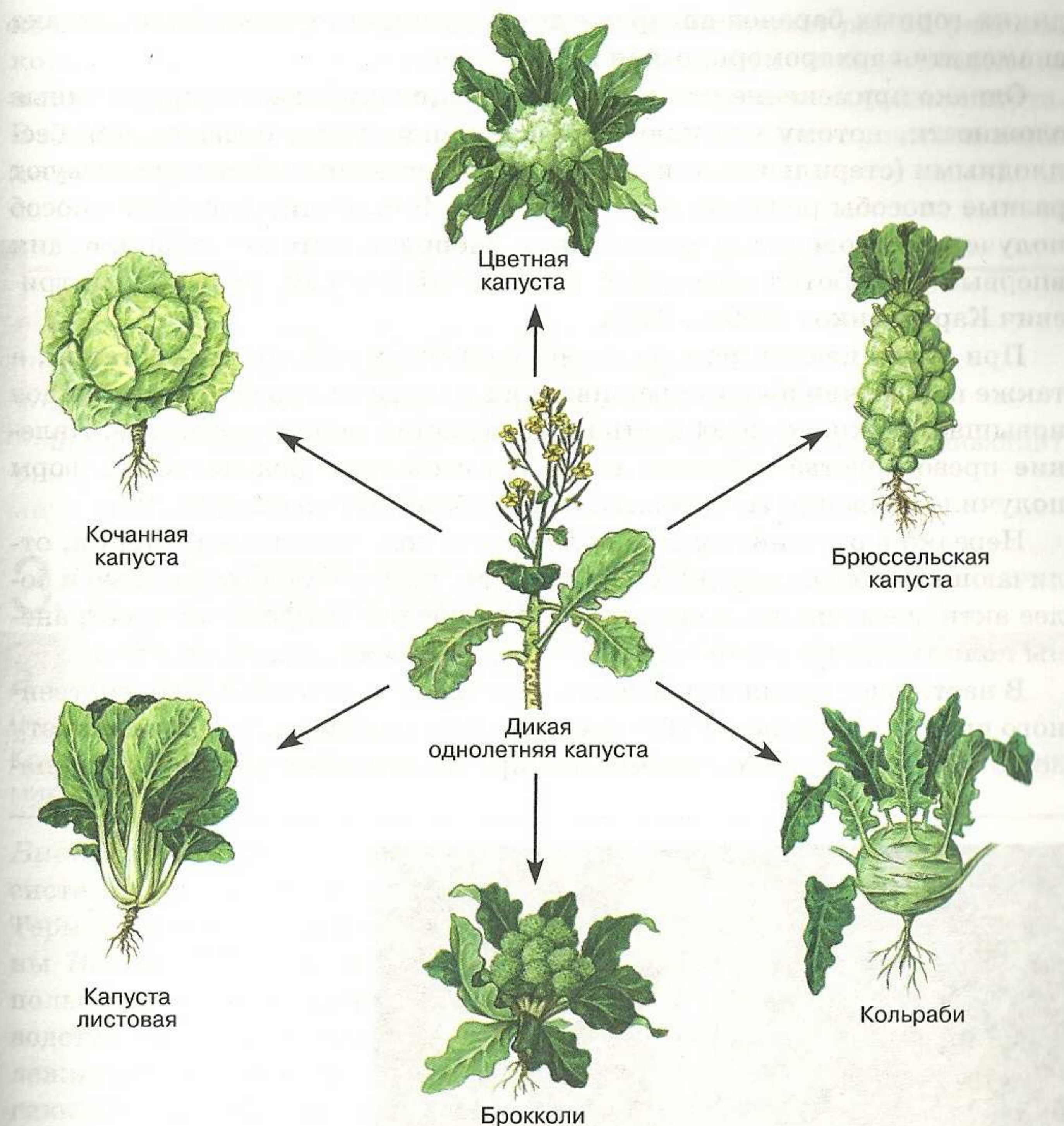


Рис. 90. Культурные разновидности капусты и их дикий предок

Классическим примером получения межвидовых гибридов в животноводстве является мул, полученный при скрещивании осла с кобылицей, который значительно превосходит родителей по выносливости и работоспособности. В Казахстане методом межвидовой гибридизации

диких горных баранов-архаров с тонкорунными овцами была создана знаменитая архаромериносная порода овец.

Однако применение межвидовых скрещиваний имеет определенные сложности, потому что получаемые гибриды часто оказываются бесплодными (стерильными) или низкоплодовитыми. Сейчас существуют разные способы решения этой проблемы. В селекции растений способ получения плодовых отдаленных гибридов методом полиплоидии впервые разработал известный российский ученый Георгий Дмитриевич Карпеченко (1899—1942).

При скрещивании разных пород животных или сортов растений, а также при межвидовых скрещиваниях в первом поколении у гибридов повышается жизнеспособность и наблюдается мощное развитие. Явление превосходства гибридов по своим свойствам родительских форм получило название *гетерозиса*, или *гибридной силы* (рис. 91).

Нередко в растениеводстве получают и полиплоидные растения, отличающиеся более крупными размерами, высокой урожайностью и более активным синтезом органических веществ. Широко распространены полиплоидные сорта клевера, сахарной свеклы, ржи, гречихи.

В настоящее время человечество использует для сельскохозяйственного производства около 10% всей поверхности суши. Увеличивать эту долю уже невозможно, потому что практически все резервы исчерпа-

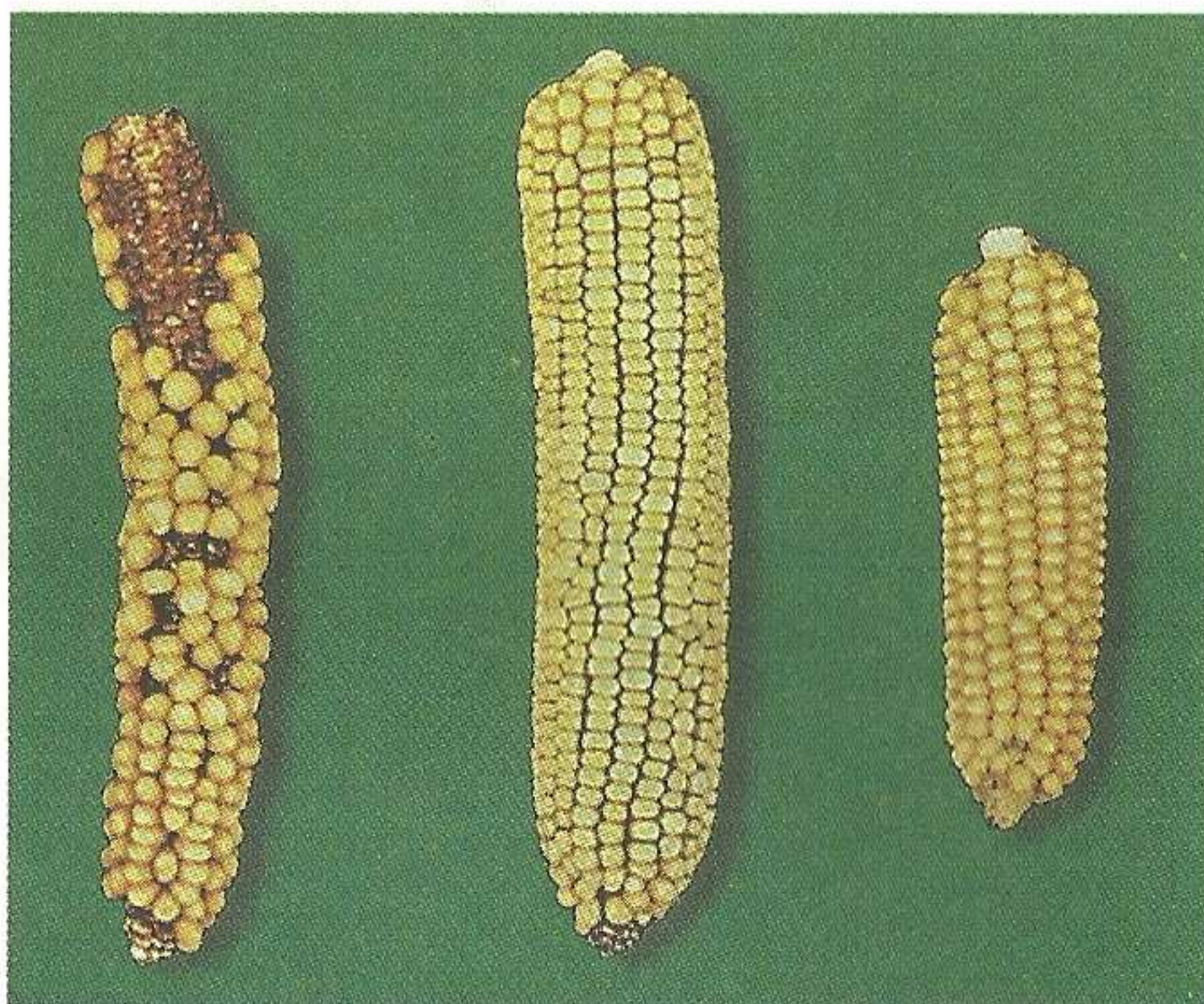


Рис. 91. Гетерозис по продуктивности гибрида (в центре), полученного при скрещивании двух различных линий кукурузы (рядом)

ны. Тем большее значение приобретает селекционная работа ученых, которые, опираясь на основные закономерности наследственности и изменчивости, создают новые высокопродуктивные породы и сорта. В последние годы селекция активно вводит в практику приемы и методы генной и клеточной инженерии.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое селекция?
2. Что называют породой, сортом, штаммом?
3. Какие основные методы селекции вы знаете?
4. Что такое массовый отбор, индивидуальный отбор?
5. Какие сложности возникают при постановке межвидовых скрещиваний?

3.19. Биотехнология: достижения и перспективы развития

Вспомните!

Что такое биотехнология?

Какое значение для промышленности и сельского хозяйства имеет селекция микроорганизмов?

Биотехнология — это использование организмов, биологических систем или биологических процессов в промышленном производстве. Термин «биотехнология» получил широкое распространение с середины 70-х гг. XX в., хотя еще с незапамятных времен человечество использовало микроорганизмы в хлебопечении и виноделии, при производстве пива и в сыроварении. Любое производство, в основе которого лежит биологический процесс, можно рассматривать как биотехнологию. Генная, хромосомная и клеточная инженерия, клонирование сельскохозяйственных растений и животных — это различные аспекты биотехнологии.

Биотехнология позволяет не только получать важные для человека продукты, например антибиотики и гормон роста, этиловый спирт и кефир, но и создавать организмы с заранее заданными свойствами гораздо быстрее, чем с помощью традиционных методов селекции. Существуют биотехнологические процессы по очистке сточных вод, переработке отходов, удалению нефтяных разливов в водоемах, получению

топлива. Эти технологии основаны на особенностях жизнедеятельности некоторых микроорганизмов.

Появляющиеся современные биотехнологии изменяют наше общество, открывают новые возможности, но одновременно создают определенные социальные и этические проблемы.

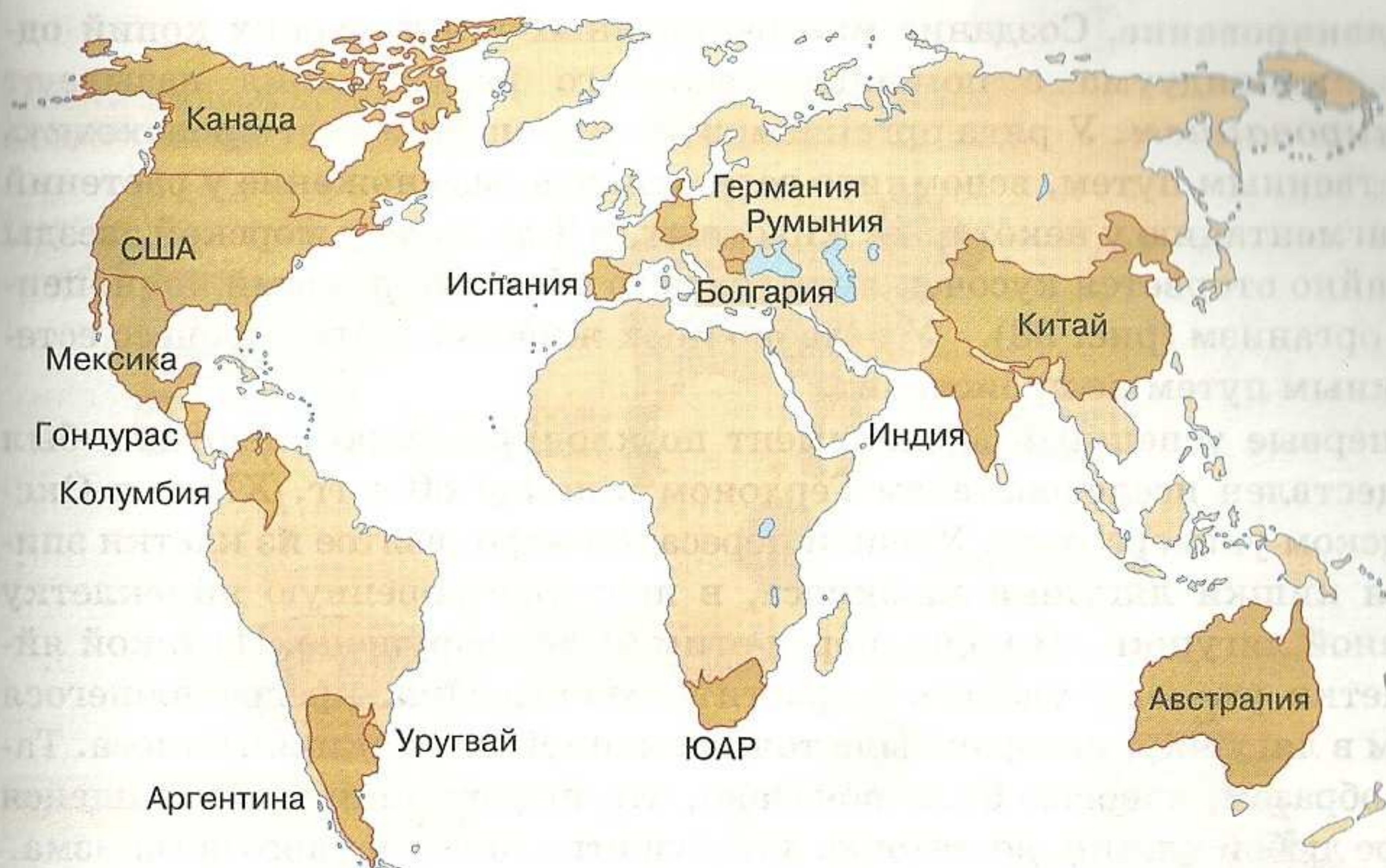
Генная инженерия. Удобными объектами биотехнологии являются микроорганизмы, имеющие сравнительно просто организованный геном, короткий жизненный цикл и обладающие большим разнообразием физиологических и биохимических свойств.

Одной из причин сахарного диабета является недостаток в организме инсулина — гормона поджелудочной железы. Инъекции инсулина, выделенного из поджелудочных желез свиней и крупного рогатого скота, спасают миллионы жизней, однако у некоторых пациентов приводят к развитию аллергических реакций. Оптимальным решением было бы использование человеческого инсулина. Методами генной инженерии ген инсулина человека был встроен в ДНК кишечной палочки. Бактерия начала активно синтезировать инсулин. В 1982 г. инсулин человека стал первым фармацевтическим препаратом, полученным с помощью методов генной инженерии.

Аналогичным способом в настоящее время получают гормон роста. Человеческий ген, встроенный в геном бактерий, обеспечивает синтез гормона, инъекции которого используются при лечении карликовости и восстанавливают рост больных детей почти до нормального уровня.

Так же, как у бактерий, с помощью методов генной инженерии можно изменять и наследственный материал эукариотических организмов. Такие генетически перестроенные организмы называют *трансгенными* или генетически модифицированными организмами (ГМО).

В природе существует бактерия, которая выделяет токсин, убивающий многих вредных насекомых. Ген, отвечающий за синтез этого токсина, был выделен из генома бактерии и встроен в геном культурных растений. К настоящему времени уже созданы устойчивые к вредителям сорта кукурузы, риса, картофеля и других сельскохозяйственных растений. Выращивание таких трансгенных растений, которые не требуют использования пестицидов, имеет огромные преимущества, потому что, во-первых, пестициды убивают не только вредных, но и полезных насекомых, а во-вторых, многие пестициды накапливаются в окружающей среде и оказывают мутагенное влияние на живые организмы (рис. 92).



Площади посевов
трансгенных культур



Рис. 92. Страны, выращивающие трансгенные растения.

Практически всю площадь посевов трансгенных культур занимают генетически модифицированные сорта четырех растений: сои (62%), кукурузы (24%), хлопчатника (9%) и рапса (4%). Уже созданы сорта трансгенного картофеля, помидоров, риса, табака, свеклы и других культур

Один из первых успешных экспериментов по созданию генетически модифицированных животных был произведен на мышах, в геном которых был встроен ген гормона роста крыс. В результате трансгенные мыши росли гораздо быстрее и в итоге были в два раза больше обычных мышей. Если этот опыт имел исключительно теоретическое значение, то эксперименты в Канаде имели уже явное практическое применение. Канадские ученые ввели в наследственный материал лосося ген другой рыбы, который активировал ген гормона роста. Это привело к тому, что лосось рос в 10 раз быстрее и набирал вес, в несколько раз превышающий норму.

Клонирование. Создание многочисленных генетических копий одного индивидуума с помощью бесполого размножения называют *клонированием*. У ряда организмов этот процесс может происходить естественным путем, вспомните вегетативное размножение у растений и фрагментацию у некоторых животных (§ 3.5). Если у морской звезды случайно оторвется кусочек луча, из него образуется новый полноценный организм (рис. 93). У позвоночных животных этот процесс естественным путем не происходит.

Впервые успешный эксперимент по клонированию животных был осуществлен исследователем Гёрдоном в конце 60-х гг. XX в. в Оксфордском университете. Ученый пересадил ядро, взятое из клетки эпителия кишки лягушки-альбиноса, в неоплодотворенную яйцеклетку обычной лягушки, чье ядро перед этим было разрушено. Из такой яйцеклетки ученому удалось вырастить головастика, превратившегося затем в лягушку, которая была точной копией лягушки-альбиноса. Таким образом, впервые было показано, что информации, содержащейся в ядре любой клетки, достаточно для развития полноценного организма.

В дальнейшем исследования, проведенные в Шотландии в 1996 г., привели к успешному клонированию овцы Долли из клетки эпителия молочной железы матери (рис. 94).

Клонирование представляется перспективным методом в животноводстве. Например, при разведении крупного рогатого скота используется следующий прием. На ранней стадии развития, когда клетки эмбриона еще не специализированы, зародыш разделяют на несколько частей. Из каждого фрагмента, помещенного в приемную (суррогатную) мать, может развиваться полноценный теленок. Таким способом

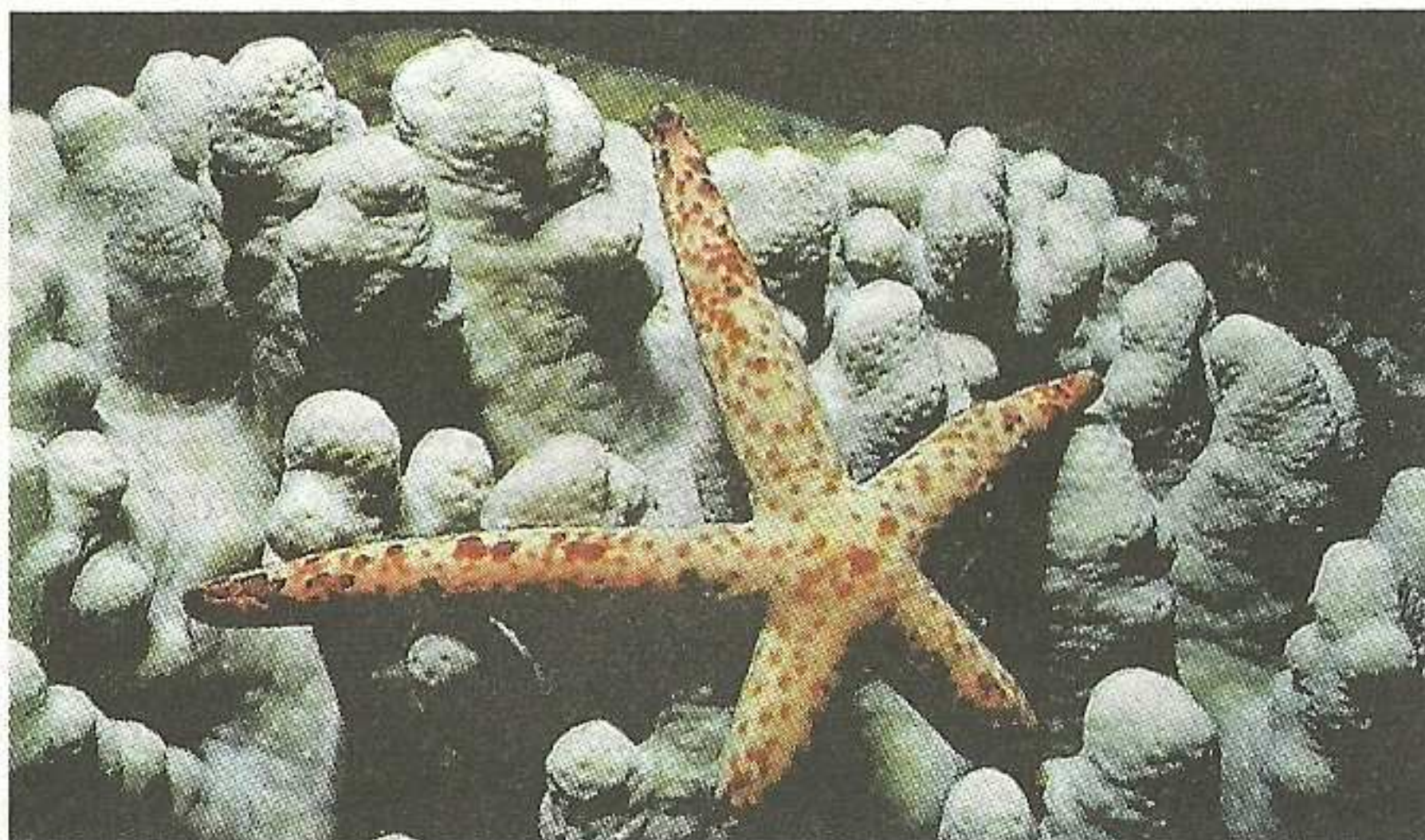


Рис. 93. Регенерация морской звезды из одного луча

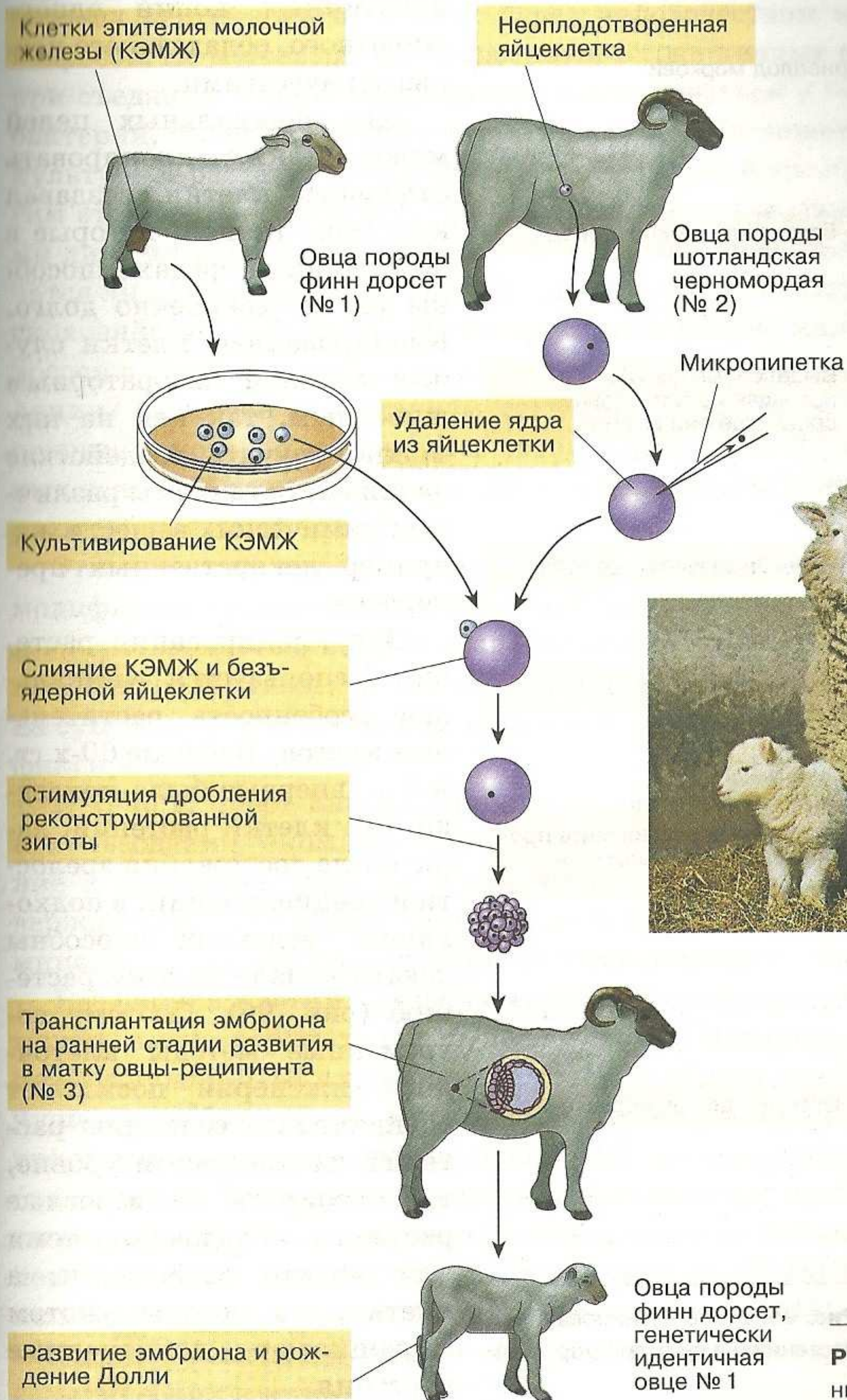


Рис. 94. Клонирование овцы Долли



можно создать множество идентичных копий одного животного, обладающего ценными качествами.

Для специальных целей можно также клонировать отдельные клетки, создавая культуры тканей, которые в подходящих средах способны расти бесконечно долго. Клонированные клетки служат заменой лабораторным животным, так как на них можно изучать воздействие на живые организмы различных химических веществ, например лекарственных препаратов.

При клонировании растений используется уникальная особенность растительных клеток. В начале 60-х гг. XX в. впервые было показано, что клетки растений, даже после достижения зрелости и специализации, в подходящих условиях способны давать начало целому растению (рис. 95). Поэтому современные методы клеточной инженерии позволяют осуществлять селекцию растений на клеточном уровне, т. е. отбирать не взрослые растения, обладающие теми или иными свойствами, а клетки, из которых потом выращивают полноценные растения.

Этические аспекты развития биотехнологии. Использование современных биотехнологий ставит перед человечеством много серьезных вопросов. Не может ли ген, встроенный в трансгенные растения томата, при съедании плодов мигрировать и встраиваться в геном, например, бактерий, живущих в кишечнике человека? Не может ли трансгенное культурное растение, устойчивое к гербицидам, болезням, засухе и другим стрессовым факторам, при перекрестном опылении с родственными дикими растениями передать эти же свойства сорнякам? Не получатся ли при этом «суперсорняки», которые очень быстро заселят сельскохозяйственные земли? Не попадут ли случайно мальки гигантского лосося в открытое море, и не нарушит ли это баланс в природной популяции? Способен ли организм трансгенных животных выдержать ту нагрузку, которая возникает в связи с функционированием чужеродных генов? И имеет ли право человек переделывать живые организмы ради собственного блага?

Эти и многие другие вопросы, связанные с созданием генетически модифицированных организмов, широко обсуждаются специалистами и общественностью всего мира. Созданные во всех странах специальные контролирующие органы и комиссии утверждают, что, несмотря на существующие опасения, вредного воздействия ГМО на природу зафиксировано не было.

В 1996 г. Совет Европы принял Конвенцию о правах человека при использовании геномных технологий в медицине. Центральное внимание в документе уделено этике применения таких технологий. Утверждается, что ни одна личность не может быть подвергнута дискриминации на основе информации об особенностях ее генома.

Введение в клетки человека чужеродного генетического материала может иметь отрицательные последствия. Неконтролируемое встраивание чужой ДНК в те или иные участки генома может привести к нарушению работы генов. Риск использования генотерапии при работе с половыми клетками гораздо выше, чем при использовании соматических клеток. При внесении генетических конструкций в половые клетки может возникнуть нежелательное изменение генома будущих поколений. Поэтому в международных документах ЮНЕСКО, Совета Европы, Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) подчеркивается, что всякое изменение генома человека может производиться лишь на соматических клетках.

Но, пожалуй, наиболее серьезные вопросы возникают в связи с теоретически возможным клонированием человека. Исследования в области человеческого клонирования сегодня запрещены во всех странах в первую очередь по этическим соображениям. Становление человека как личности базируется не только на наследственности. Оно определяется семейной, социальной и культурной средой, поэтому при любом клонировании воссоздать личность невозможно, как невозможно воспроизвести все те условия воспитания и обучения, которые сформировали личность его прототипа (донора ядра). Все крупные религиозные конфессии мира осуждают любое вмешательство в процесс воспроизводства человека, настаивая на том, что зачатие и рождение должно происходить естественным путем.

Эксперименты по клонированию животных поставили перед научной общественностью ряд серьезных вопросов, от решения которых зависит дальнейшее развитие этой области науки. Овечка Долли не была единственным клоном, полученным шотландскими учеными. Клонов было несколько десятков, а в живых осталась только Долли. В последние годы совершенствование техники клонирования позволило увеличить процент выживших клонов, но их смертность все еще очень высока. Однако существует проблема еще более серьезная с научной точки зрения. Несмотря на победное рождение Долли, остался неясным ее реальный биологический возраст, связанные с ним проблемы со здоровьем и относительно ранняя смерть. По мнению ученых, использование ядра клетки немолодой шестилетней овцы-донора сказалось на судьбе и здоровье Долли.

Необходимо существенно повысить жизнеспособность клонированных организмов, выяснить, влияет ли использование конкретных методик на продолжительность жизни, здоровье и плодовитость животных. Очень важно свести к минимуму риск дефектного развития реконструированной яйцеклетки.

Активное внедрение биотехнологий в медицину и генетику человека привело к появлению специальной науки — биоэтики. *Биоэтика — наука об этическом отношении ко всему живому, в том числе и к человеку.* Нормы этики выдвигаются сейчас на первый план. Те нравственные заповеди, которыми человечество пользуется века, к сожалению, не предусматривают новых возможностей, привносимых в жизнь современной наукой. Поэтому людям необходимо обсуждать и принимать новые законы, учитывающие новые реальности жизни.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое биотехнология?
2. Какие проблемы решает генная инженерия? С какими трудностями связаны исследования в этой области?
3. Как вы думаете, почему селекция микроорганизмов приобретает в настоящее время первостепенное значение?
4. Приведите примеры промышленного получения и использования продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.
5. Какие организмы называют трансгенными?
6. В чем преимущество клонирования по сравнению с традиционными методами селекции?

Вопросы для обсуждения**Глава****«Организм»****«Организм — единое целое. Многообразие организмов»**

1. Как вы считаете, почему до сих пор науке неизвестно точное количество видов организмов, живущих на нашей планете?
2. В клетках каких организмов существуют органоиды специального назначения? Какие функции они выполняют?
3. Подумайте, могут ли у многоклеточных организмов отсутствовать ткани и органы.

«Обмен веществ и превращение энергии»

1. Как связаны между собой фотосинтез и проблема обеспечения продовольствием населения Земли?
2. Объясните, почему потребление избыточного количества пищи приводит к ожирению.
3. Почему энергетический обмен не может существовать без пластического обмена?
4. Можно ли считать, что фотосинтез включает в себя одновременно два процесса — ассимиляцию и диссимиляцию?
5. Приведите примеры использования особенностей метаболизма живых организмов в медицине, сельском хозяйстве и других отраслях.

«Размножение»

1. Как вы считаете, в чем преимущество двойного оплодотворения у покрытосеменных растений по сравнению с оплодотворением у голосеменных?
2. Почему при вегетативном размножении не наблюдается расщепление признаков в потомстве гибридов?
3. Подумайте, в чем отличие естественного вегетативного размножения от искусственного.
4. Организм развился из неоплодотворенной яйцеклетки. Являются ли его наследственные признаки точной копией признаков материнского организма?
5. Как вы считаете, какая форма размножения обеспечивает лучшую приспособляемость к изменениям окружающей среды?

«Индивидуальное развитие (онтогенез)»

1. Почему из равноценных в начале развития зародышевых клеток образуются разные ткани и органы с различными свойствами?
2. Какое значение в приспособлении к условиям жизни имеет развитие с превращением?
3. Какое значение в эволюции человека имело удлинение дорепродуктивного периода?
4. Для каких организмов понятия «клеточный цикл» и «онтогенез» совпадают?

«Наследственность и изменчивость»

1. В чем заключается преимущество диплоидности по сравнению с гаплоидным состоянием?
2. Составьте и решите задачи на моногибридное и дигибридное скрещивания.
3. Митохондрии содержат ДНК, гены которой кодируют синтез многих белков, необходимых для построения и функционирования этих органоидов. Подумайте, как будут наследоваться эти внеядерные гены.
4. Объясните с позиции генетики, почему среди мужчин гораздо больше дальтоников, чем среди женщин.
5. Как вы считаете, могут ли факторы внешней среды повлиять на развитие организма, несущего летальную мутацию?
6. Какой бы вы предложили поставить эксперимент, чтобы доказать генетическую обусловленность поведенческих реакций?
7. Как вы считаете, в чем заключается опасность близкородственных браков?
8. Подумайте, в чем особенность изучения наследования признаков у человека.

9. Почему хозяйственная деятельность человека увеличивает мутагенное влияние среды?
10. Может ли комбинативная изменчивость проявиться в отсутствие полового процесса?

«Основы селекции. Биотехнология»

1. Что схожего и чем отличаются методы селекции растений и животных?
2. Почему для каждого региона нужны свои сорта растений и животных?
3. Из большого разнообразия видов животных, обитающих на Земле, человек отобрал для одомашнивания сравнительно немного видов. Как вы считаете, чем это объясняется?
4. Гетерозис в последующих поколениях обычно не сохраняется, затухает. Почему это происходит?
5. Как вы считаете, может ли применяться массовый отбор при разведении животных? Докажите свое мнение.
6. Какое значение для селекции растений имеет знание центров происхождения культурных растений?
7. Какие перспективы в развитии народного хозяйства открывает использование трансгенных животных?
8. Может ли современное человечество обойтись без биотехнологии?

ГЛАВА

4

Вид



ТЕМЫ

История эволюционных идей

Современное эволюционное учение

Происхождение жизни на Земле

Происхождение человека



В настоящее время на нашей планете обитает несколько миллионов видов живых организмов, каждый из которых по своему уникален. Каким образом сформировалось это **колоссальное разнообразие**? Почему каждый вид **оптимально приспособлен** к условиям своего обитания? Чем **отличаются** одни виды от других? Почему одни виды **процветают**, а другие **вымирают** и исчезают с лица Земли? Какое место среди этого многообразия занимает вид ***Homo sapiens*** (Человек разумный) и кто его **предки**? Во все века человечество пыталось найти ответы на эти и другие подобные им вопросы.

4.1. Развитие биологии в додарвиновский период.

4.1. Работа К. Линнея

Вспомните!

Какие взгляды на происхождение жизни существовали в античный и средневековый периоды?

Мир живых организмов обладает рядом общих черт, которые всегда вызывали у человека чувство удивления и порождали много вопросов. Первая из таких общих черт — необыкновенная сложность строения организмов. Вторая — явная целесообразность строения, каждый вид в природе приспособлен к условиям своего существования. И наконец, третья ярко выраженная черта — огромное разнообразие существующих видов.

Каким образом возникли сложные организмы? Под влиянием каких сил сформировались особенности их строения? Каково происхождение разнообразия органического мира и как оно поддерживается? Какое место в этом мире занимает человек и кто его предки? На эти и многие другие вопросы отвечает эволюционное учение, которое является теоретической основой биологии.

Термин «эволюция» (от лат. *evolutio* — разворачивание) был введен в науку в XVIII в. швейцарским зоологом Шарлем Бонне. Под *эволюцией* в биологии понимают *необратимый процесс исторического изменения живых существ и их сообществ*. Эволюционное учение — это наука о причинах, движущих силах, механизмах и общих закономерностях преобразования живых существ во времени. Теория эволюции занимает особое место в изучении жизни. Ей принадлежит роль объединяющей теории, которая образует фундамент для всей биологической науки.

Античные и средневековые представления о сущности и развитии жизни. Объяснить происхождение жизни и человека люди пытались с глубокой древности. Многие религии и философские теории возникли как попытки решения этих глобальных вопросов.

Представления об изменяемости окружающего мира возникли еще многие тысячи лет назад. В Древнем Китае философ Конфуций¹ счи-

¹ Конфуций (ок. 551 — 479 до н. э.), Диоген (ок. 400 — ок. 325 до н. э.), Фалес (ок. 625 — ок. 547 до н. э.), Анаксагор (ок. 500 — 428 до н. э.), Демокрит (ок. 470 или 460 до н. э. — ?, умер в глубокой старости), Пифагор (VI в. до н. э.), Анаксимандр (ок. 610 — после 547 до н. э.), Гиппократ (ок. 460 — ок. 370 до н. э.)

тал, что жизнь возникла из одного источника путем расхождения и ветвления. В эпоху античности древнегреческие философы искали то материальное начало, которое было источником и первоосновой жизни. Диоген считал, что все существа подобны одному исходному существу и произошли от него в результате дифференциации. Фалес предполагал, что все живые организмы произошли из воды, Анаксагор утверждал, что из воздуха, а Демокрит объяснял происхождение жизни процессом самозарождения ее из ила.

Большое влияние на развитие и формирование представлений о живой природе оказали исследования и философские теории таких выдающихся ученых античности, как Пифагор, Анаксимандр, Гиппократ.

Величайший из древнегреческих ученых Аристотель, обладая энциклопедическими знаниями, заложил основы развития биологии и сформулировал теорию непрерывного и постепенного развития живого из неживой материи. В своей работе «История животных» Аристотель впервые разработал систематику животных (рис. 96). Всех животных он разделил на две большие группы: животные с кровью и бескровные. Животных с кровью он в свою очередь разделил на яйцекладущих и живородящих. В другой своей работе Аристотель впервые высказал мысль о том, что природа — это непрерывный ряд усложняющихся

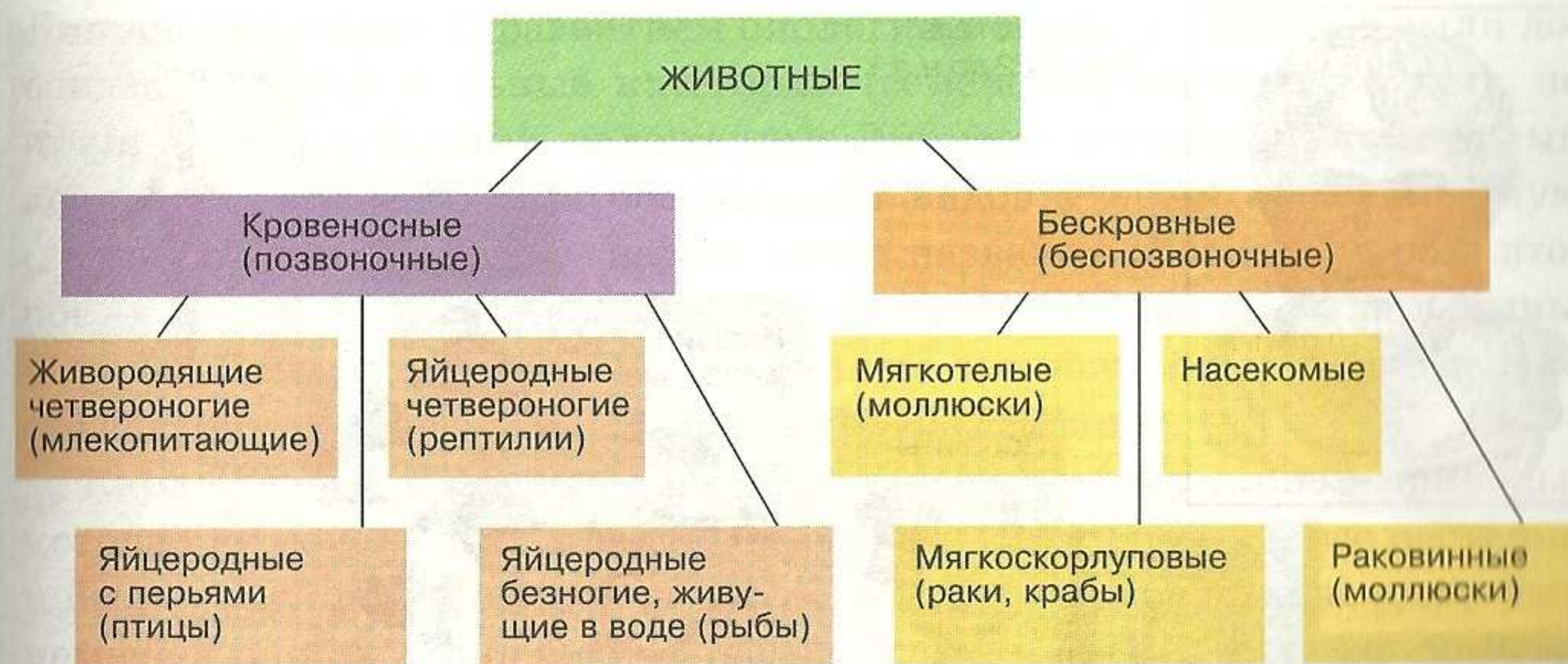


Рис. 96. Система животного мира по Аристотелю. В скобках приведены соответствующие современные систематические названия

■ В работе «Возникновение животных» Аристотель описал развитие куриного эмбриона и высказал предположение, что зародыши живородящих животных тоже происходят из яйца, но только лишенного твердой оболочки. Таким образом, Аристотеля в какой-то степени можно считать основателем эмбриологии, науки о зародышевом развитии.

форм: от неживых тел к растениям, от растений к животным и далее до человека (рис. 97).■

С наступлением Средневековья в Европе распространяется идеалистическое мировоззрение, основанное на церковных догматах. Творцом всего живого провозглашается Высший разум, или Бог. Рассматривая природу с таких позиций, ученые считали, что все живые существа являются мате-

риальным воплощением идей Творца, они совершенны, отвечают цели своего существования и неизменны во времени. Такое метафизическое направление в развитии биологии называют *креационизмом* (от лат. creatio — создание, творение).

В этот период было создано множество классификаций растений и животных, но в основном они имели формальный характер и не отражали степень родства между организмами.

Интерес к биологии возрос в эпоху Великих географических открытий. В 1492 г. была открыта Америка. Интенсивная торговля и путе-



Рис. 97. «Лестница существ» Аристотеля

шествия расширяли сведения о растениях и животных. В Европу завозили новые растения — картофель, томаты, подсолнечник, кукурузу, корицу, табак и многие другие. Ученые описывали множество невиданных ранее животных и растений. Возникла насущная необходимость создать единую научную классификацию живых организмов.

Система органической природы К. Линнея. Большой вклад в создание системы природы внес выдающийся шведский естествоиспытатель Карл Линней. Ученый считал вид реальной и элементарной единицей живой природы, имеющей не только морфологические, но и физиологические критерии (например, нескрещиваемость разных видов). В начале своей научной деятельности К. Линней придерживался метафизических взглядов, поэтому он считал, что виды и их количество неизменны. Разработав короткие и четкие определения признаков, ученый описал около 10 тыс. видов растений и более 4 тыс. видов животных. В возрасте 28 лет К. Линней опубликовал свою самую известную работу «Система природы», в которой описал основные принципы систематики — науки о классификации живых организмов. В основу своей классификации он положил принцип иерархичности (соподчиненности) таксонов (от греч. *taxis* — расположение в порядке), когда несколько мелких таксонов (видов) объединяются в более крупный род, роды объединяются в отряды и т. д. Самой крупной единицей в системе Линнея был класс. С развитием биологии в систему таксонов были добавлены дополнительные категории (семейство, подкласс и др.), но принципы систематики, заложенные Линнеем, остались неизменными до нашего времени. Для обозначения видов ученый ввел бинарную (двойную) номенклатуру, первое слово названия обозначало род, второе — вид. В XVIII в. международным научным языком была латынь, поэтому Линней давал видам названия на латинском языке, что делало его систему универсальной и понятной во всем мире.

Карл Линней построил первую научную систему живой природы, которая включала всех известных в то время животных и все растения и была самой совершенной для своего времени. Впервые человек был помещен в один отряд с обезьянами. Однако, распределяя организмы по таксономическим группам, Линней учитывал ограниченное количество признаков. Например, все животные были разделены на 6 классов по строению дыхательной и кровеносной систем: черви, насекомые,

■ Линней так выразил свое кредо ученого: «Когда я впервые стал изучать природу, я увидел ее противоречие с тем, что можно было бы считать замыслом Творца. Я отбросил прочь предубеждения, стал во всем сомневаться, и тогда мои глаза впервые открылись, и я увидел истину».

рыбы, гады, птицы и звери. Внутри классов Линней основывался на более мелких признаках, например птиц он объединял по клюву, а зверей — по строению зубов.

Основным признаком у цветковых растений Линней выбрал количество тычинок. Это привело к тому, что в одну группу попадали

организмы, далеко отстоящие друг от друга по степени родства. Например, в один из 24 классов растений попали вместе сирень и ива, в другой — рис и тюльпан. Все растения, не имеющие цветков, Линней определил в отдельный класс — тайнобрачные. Однако, наряду с водорослями, споровыми и голосеменными растениями, он отнес туда также грибы и лишайники. Осознавая искусственность своей системы природы, Линней писал: «Искусственная система служит только до тех пор, пока не создана естественная». ■

Наряду с этим в XVII—XIX вв. в Европе существовала и иная система взглядов на изменяемость организмов, которая сложилась еще на основе мировоззрений античных философов. Многие выдающиеся ученые того времени считали, что организмы способны изменяться под воздействием среды. Однако при этом ученые не стремились, да и не имели возможности доказывать эволюционные преобразования организмов. Такое направление в развитии биологии называют *трансформизмом* (от лат. *transformo* — превращаю). Среди представителей этого направления были Эразм Дарвин (дед Чарлза Дарвина), Роберт Гук, Иоганн Вольфганг Гёте, Дени Дидро, в России — Афанасий Каверзнев и Карл Рулье.

Вопросы для повторения и задания

1. Что было известно о живой природе в Древнем мире?
2. Чем можно объяснить господство представлений о неизменности видов в XVIII в.?
3. Что такое систематика?
4. По какому принципу построена классификация организмов К. Линнея?
5. Поясните мысль, высказанную К. Линнеем: «Система — это ариаднина нить ботаники, без нее гербарное дело превращается в хаос».

4.2. Эволюционная теория Ж. Б. Ламарка

Вспомните!

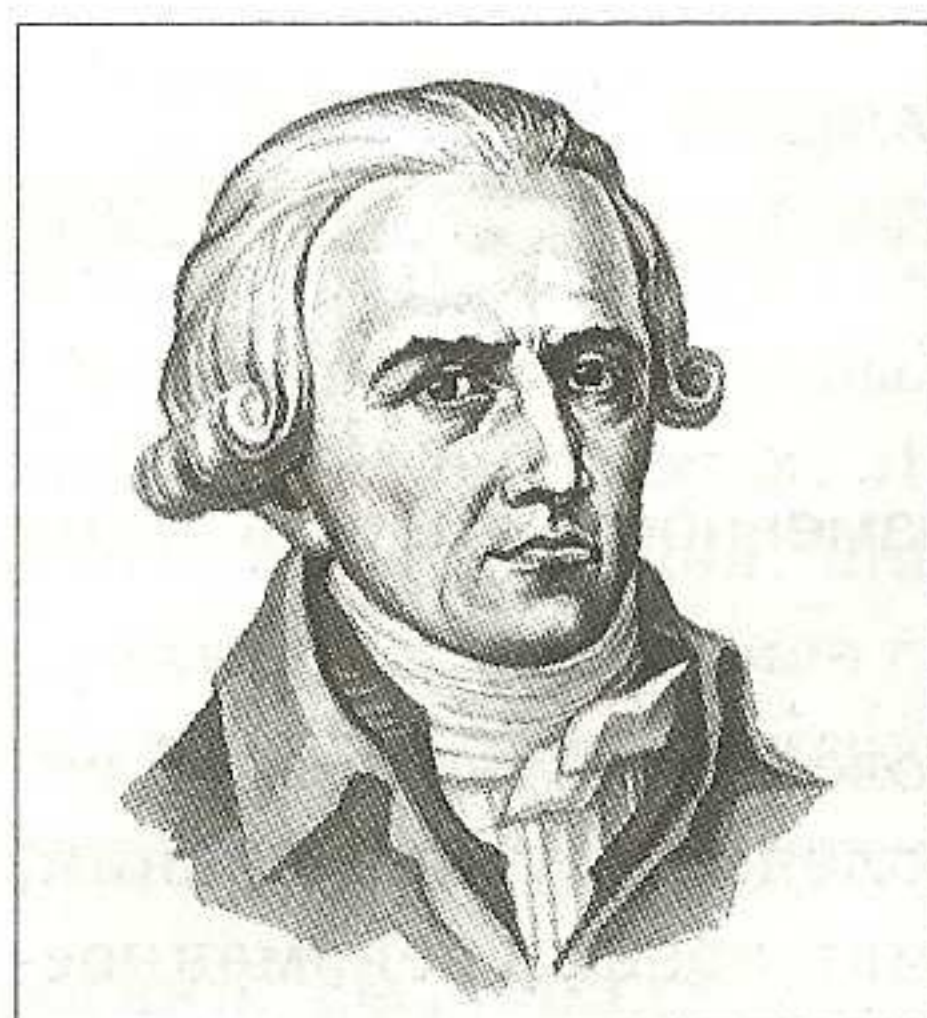
Что такое эволюция?

Чем объясняется господство представлений о неизменности видов в эпоху К. Линнея?

В конце XVIII в. большинство ученых было готово принять идею об изменяемости видов. Продолжалось активное накопление научных знаний, многие из которых было сложно объяснить с точки зрения неизменности видов. Серьезные перемены происходили в социально-экономической и политической обстановке Европы, в 1789—1794 гг. во Франции разразилась революция. Коренные изменения, которые потрясали общество, приводили к мысли, что и в природе не может быть постоянства.

Создателем первой эволюционной теории стал выдающийся французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк. Ученый считал, что наиболее общие категории явлений, такие, как пространство, движение, материя и время, созданы Богом, а все остальные объекты образованы самой природой. Своей задачей Ламарк считал поиск того пути, по которому шла природа, формируя существующее многообразие живых существ. Эволюционную теорию Ламарк изложил в двухтомном труде «Философия зоологии» (1809). Ученый определил два основных направления эволюционного процесса: постоянное усложнение уровня организации живых существ, происходящее во времени (градация, от лат. *gradatio* — постепенное повышение), и увеличение разнообразия под действием условий среды. Таким образом, эволюционную теорию Ламарка можно разделить на две части: учение о градации организмов и учение об изменчивости.

Учение о градации организмов. Ламарк считал, что первые организмы произошли из неорганической природы путем самозарождения. Их дальнейшее развитие привело к усложнению живых существ, поэтому классификация организмов не может быть произвольной, она должна отображать процесс движения от низших форм к высшим. Всех животных ученый разделил на 14 классов, которые распределил по степени усложнения организации, образовав 6 ступеней — градаций (рис. 98). Самый низший уровень в этой системе занимали инфузории, наиболее высокий — млекопитающие. Для того чтобы объяснить механизм усложнения живых существ, Ламарк предположил существ-



Жан Батист Ламарк
(1744–1829)

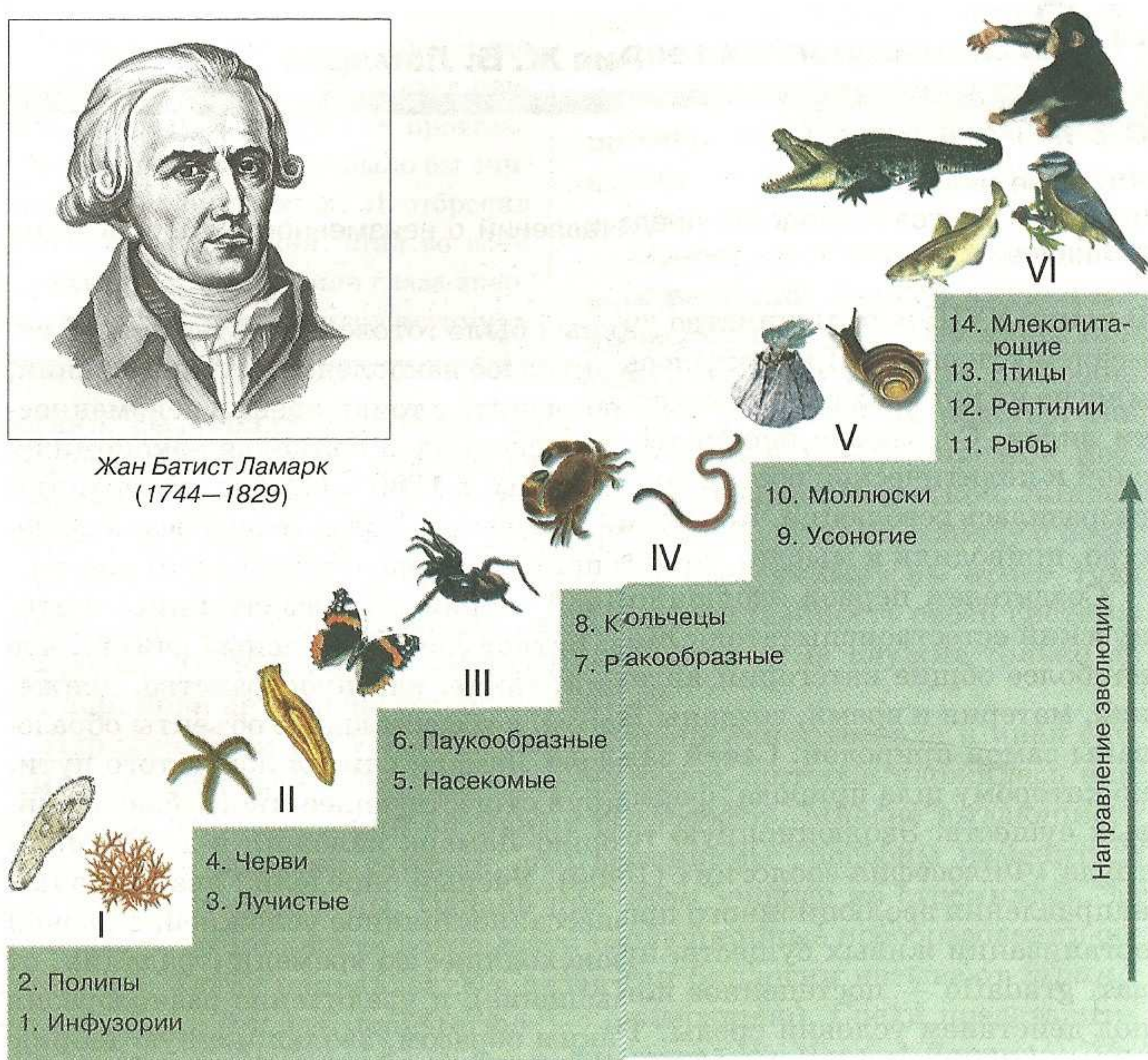


Рис. 98. Градации Ламарка

возникновение у всех организмов стремления к совершенствованию, изначально заложенного в них Богом (принцип самосовершенствования). Одновременное наличие в природе и простых, и более сложных организмов Ламарк объяснял постоянно продолжающимся процессом самозарождения жизни.

Учение об изменчивости. Совершаясь, организмы вынуждены приспосабливаться к условиям внешней среды. Для того чтобы объяснить, как возникает разнообразие на каждой ступени «лестницы существ», Ламарк сформулировал два закона.

Закон упражнения и неупражнения органов: постоянное употребление органа ведет к его усиленному развитию, а неупотребление — к ослаблению и исчезновению. Согласно этому закону необходимость доставать листья на деревьях ведет к тому, что жираф, стараясь до них дотянуться, постоянно вытягивает шею, в результате чего она становится длинной. Муравьеду, чтобы доставать муравьев из глубины муравейника, приходится вытягивать язык, и он становится тонким и длинным, а перепонки между пальцами ног у водоплавающей птицы возникают из-за постоянного раздвигания пальцев и растягивания кожи во время плавания. Примером исчезновения органов в результате неупражнения является редукция глаз у крота.

Закон наследования благоприобретенных признаков: под действием постоянных упражнений и неупражнений органы изменяются, и возникшие изменения наследуются. По мнению Ламарка, вытянувшаяся в течение жизни шея жирафа будет передана следующему поколению, которое родится уже с более длинной шеей. Открытие в XX в. материальной основы наследственности — ДНК окончательно опровергло возможность наследования благоприобретенных признаков. ■

■ Для того чтобы доказать, что признаки, приобретенные в течение жизни, не передаются по наследству, известный исследователь Август Вейсман отрезал хвосты подопытным мышам на протяжении 22 поколений. Однако никакого укорочения хвостов у потомков не произошло.

Значение теории Ламарка. Учение Ламарка стало первой целостной эволюционной теорией. Ученый определил предпосылки эволюции (изменчивость и наследственность) и указал направление эволюции (усложнение организации). Однако, правильно оценив развитие природы от простого к сложному, Ламарк не смог вскрыть причины эволюции. Созданная теория не могла объяснить многие существующие явления, такие, как наследование нефункционирующих признаков (например, рудиментарные органы), появление мимикрии или покровительственной окраски.

Эволюционные идеи Ламарка не нашли поддержки у современников и подверглись критике со стороны многих ученых, одним из которых был Жорж Кювье — основоположник сравнительной анатомии и палеонтологии. ■

Теория катастроф Ж. Кювье. Европейские ученые достаточно часто находили ископаемые остатки каких-то животных и растений, совсем

■ Ж. Б. Ламарк преподнес свою книгу «Философия зоологии» в подарок французскому императору Наполеону Бонапарту, но тот так резко отозвался об этом труде, что пожилой ученый не смог удержаться от слез. Скончался Ламарк в бедности и безвестности, дожив до 85 лет. До его последнего часа с ним оставалась дочь Корнелия, писавшая под диктовку ослепшего отца.

В 1909 г., в столетнюю годовщину выхода в свет «Философии зоологии», в Париже был открыт памятник Ламарку. На одном из барельефов памятника изображен Ламарк в старости. Он сидит в кресле, а его дочь, стоя рядом, говорит ему: «Потомство будет восхищаться Вами, отец, оно отомстит за Вас».

не похожие на современные. Предположение о том, что некогда существовали какие-то другие, ныне вымершие существа, шло вразрез с господствующей тогда теорией креационизма (вечности жизни и неизменности существования видов). Ж. Кювье собрал множество таких находок, описал их, систематизировал и установил, что в более древних геологических отложениях находятся только остатки моллюсков и рыб, в более поздних появляются рептилии, а еще позднее — млекопитающие. Для того чтобы объяснить исчезновение видов, Кювье выдвинул теорию катастроф. Согласно Кювье, в результате стихийных бедствий на значительной части земного шара погибали все растения и животные, а затем на

их место переселялись уцелевшие на других территориях и никак не связанные с предыдущими организмы. Ученики Кювье позже развили эту теорию. Они предположили, что после катастроф, в которых гибло все живое планеты, совершались новые акты божественного творения. В течение нескольких десятилетий теория катастроф имела широкое научное признание, но прошло время и большинство ученых предпочли ей эволюционную теорию Дарвина.

Вопросы для повторения и задания

1. Какой вклад в биологию внес Ж. Б. Ламарк? Изложите основные положения его эволюционной теории.
2. Охарактеризуйте верные и ошибочные положения теории эволюции Ж. Б. Ламарка.
3. Могут ли наследоваться признаки, приобретенные в течение жизни организма?
4. Как объяснял Ж. Кювье палеонтологические данные о смене форм животных на Земле? Изложите его теорию катастроф.

4.3. Предпосылки возникновения учения Чарлза Дарвина

Вспомните!

Кто был автором первой эволюционной теории?

Какие биологические открытия были сделаны к середине XIX в.?

Естественнонаучные предпосылки. К середине XIX в. в естествознании было сделано много новых открытий. Иммануил Кант создал теорию о происхождении космических тел естественным путем, а не в результате божественного творения. Французский ученый Пьер Симон Лаплас в работе «Изложение системы мира» математически обосновал теорию И. Канта. В 1824 г. химики впервые синтезировали органические вещества, доказав, что их образование происходит без участия «высших сил». Йенс Берцелиус показал единство элементного состава живой и неживой природы. В 1839 г. Т. Шванн и М. Шлейден создали клеточную теорию, которая постулировала, что все живые организмы состоят из клеток, общие черты которых одинаковы у всех растений и животных. Это было весомым доказательством единства происхождения живого мира.

К. М. Бэр показал, что развитие всех организмов начинается с яйцеклетки. При этом у всех позвоночных наблюдаются общие черты эмбрионального развития: на ранних этапах обнаруживается удивительное сходство в строении зародышей, принадлежащих к разным классам.

Возникла палеонтология (от греч. *palaios* — древний, *ontos* — существующее, *logos* — слово, учение) — наука о вымерших растениях и животных, сохранившихся в виде ископаемых остатков, отпечатков и следов их жизнедеятельности; о смене их в процессе развития жизни на Земле (рис. 99).

Исследуя строение позвоночных животных, Ж. Кювье установил, что все органы животного являются частями одной целостной системы. Строение каждого органа отвечает принципу строения всего организма, и изменение одной части тела должно вызывать изменение других частей. Не могут копыта и сложный многокамерный желудок принадлежать хищнику, а когти и острые клыки — травоядному. Соответствие строения органов друг другу Кювье назвал *принципом корреляции*.

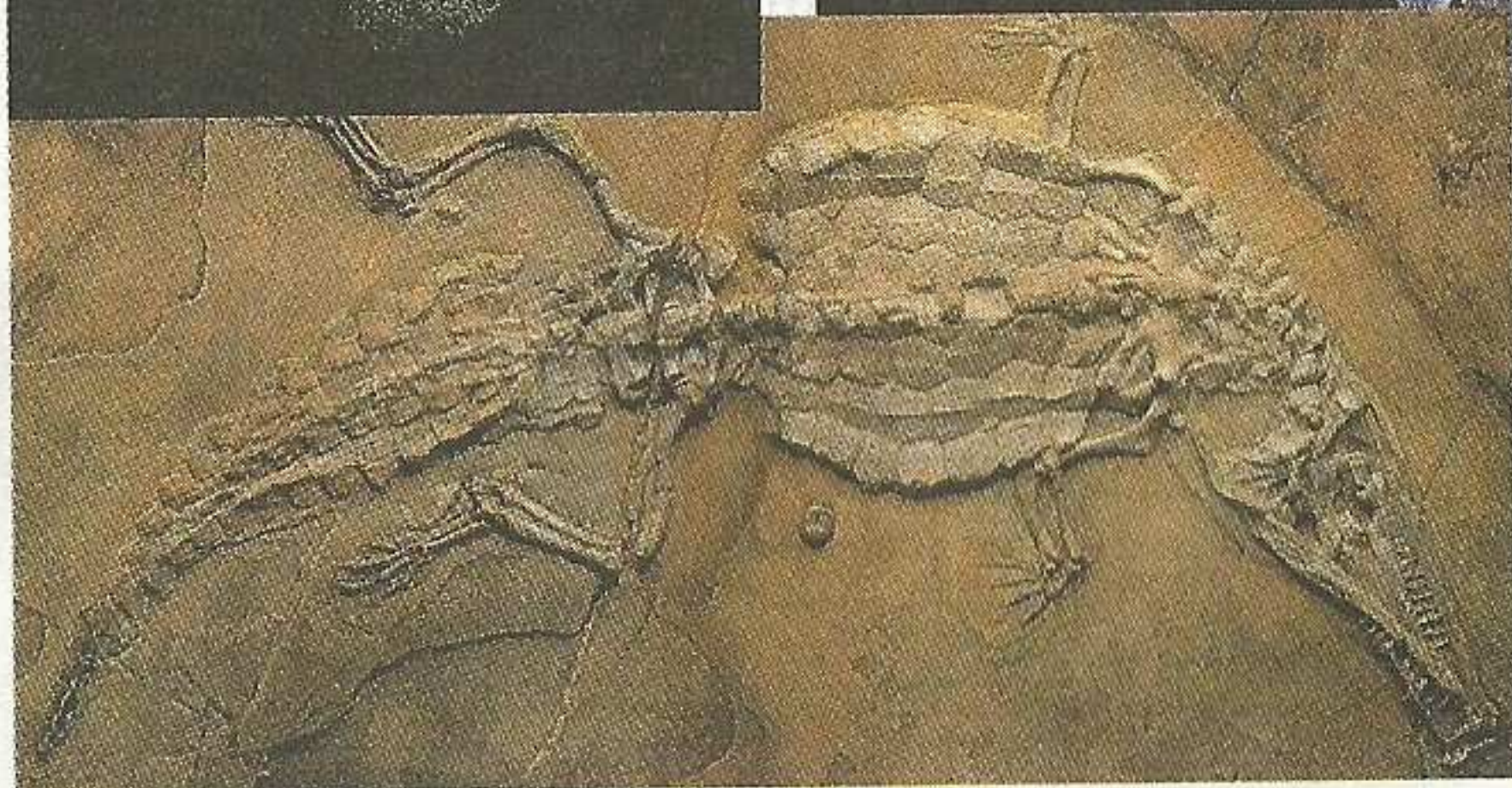
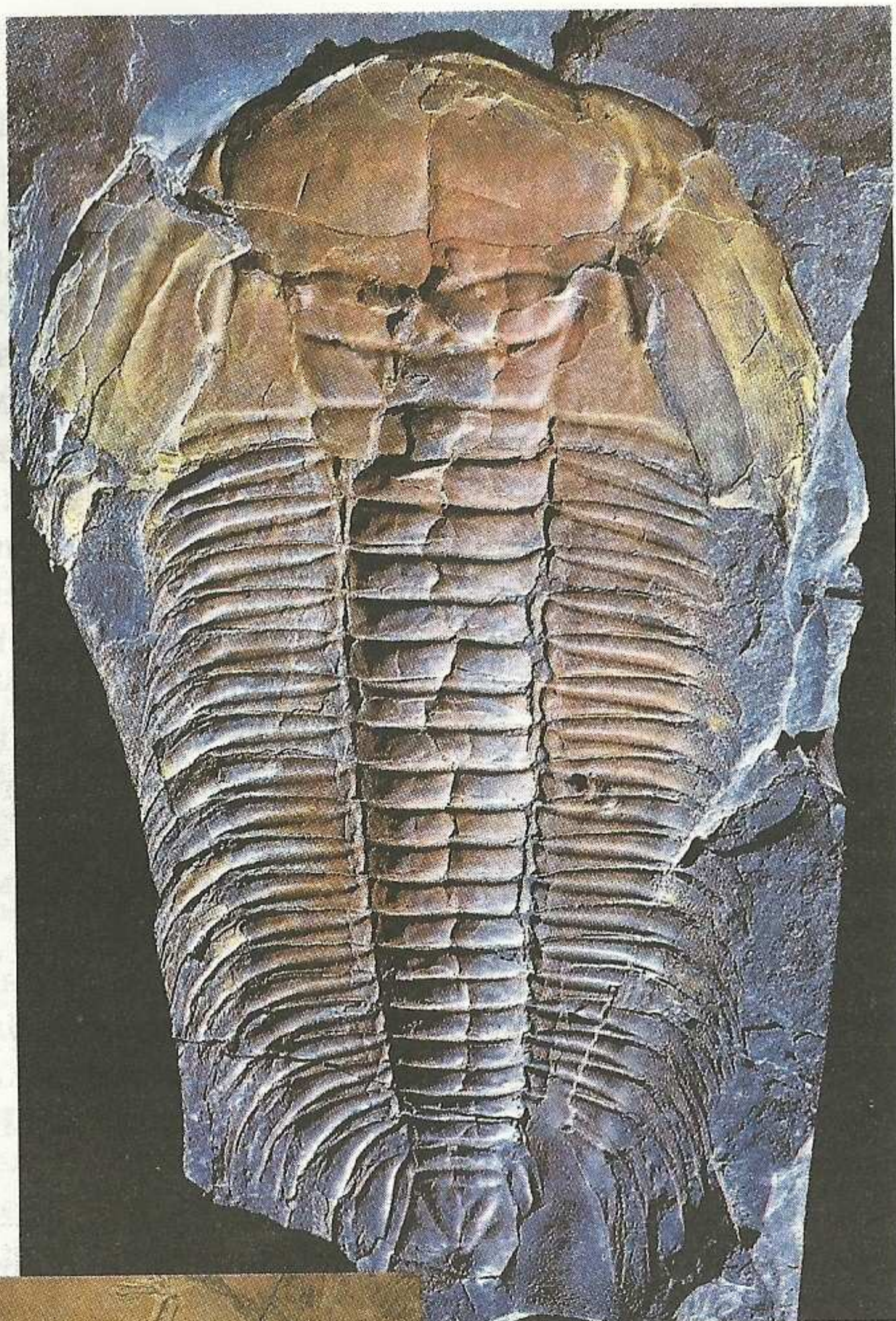


Рис. 99. Древние окаменелости

Занимаясь систематикой, Ж. Кювье изучал типы строения животных. Сравнивая анатомическое строение различных живых организмов, он обнаружил их глубокое внутреннее сходство при внешнем разнообразии. Оказалось, например, что конечности всех наземных позвоночных состоят из одних и тех же отделов (рис. 100). Такое сходство в строении животных указывало на их возможное родство и общее происхождение.

Английский геолог Чарлз Лайель опроверг теорию катастроф Ж. Кювье и доказал, что поверхность земли изменяется постепенно под действием самых обычных природных факторов: ветра, дождя, прибоа, извержения вулканов и др.

Факты и открытия в самых разных областях естествознания противоречили теории о божественном происхождении и неизменности су-

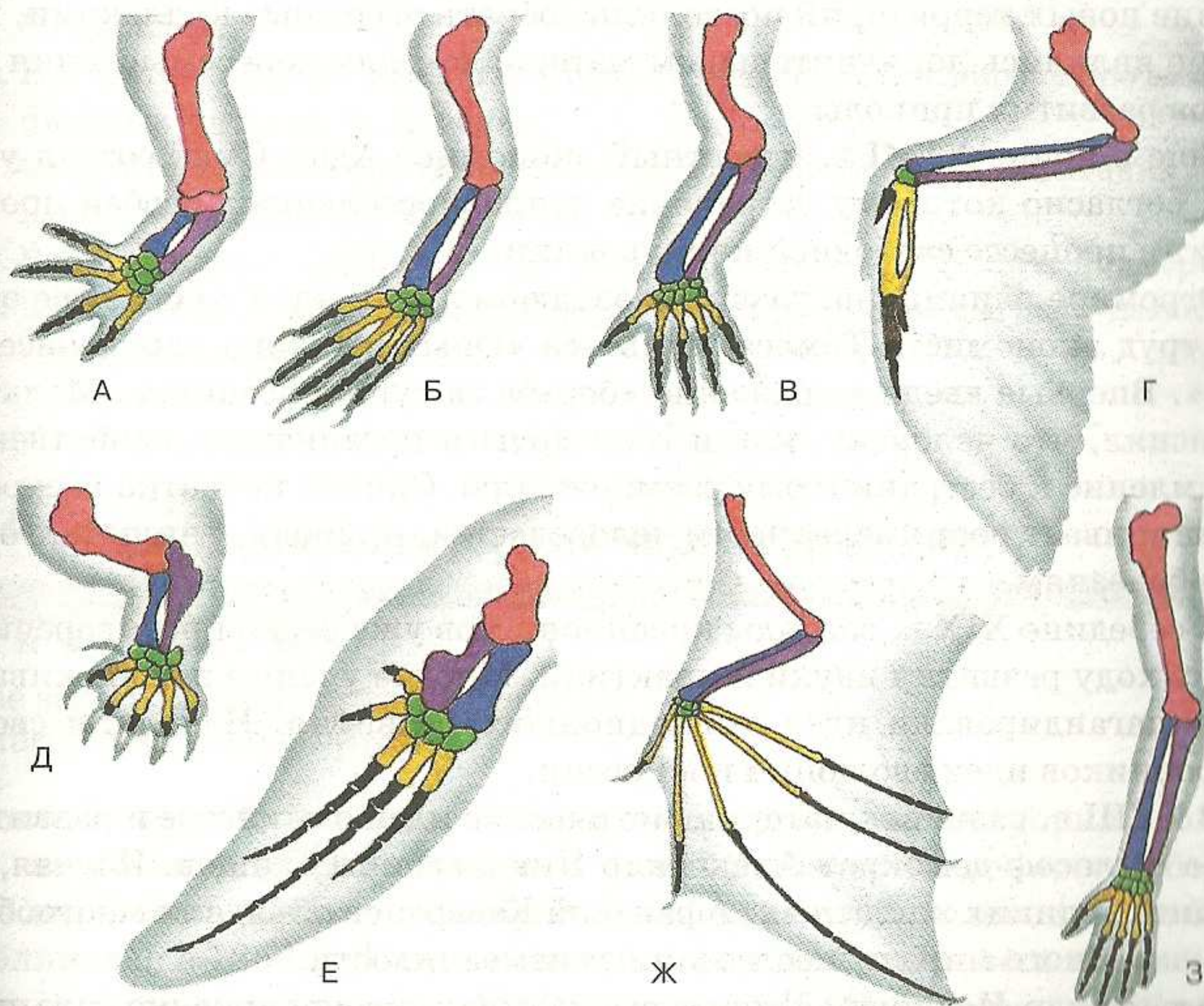


Рис. 100. Гомология передних конечностей позвоночных: А — лягушка; Б — ящерица; В — крокодил; Г — птица; Д — крот; Е — кит; Ж — летучая мышь; З — человек

ществования природы. Но не только в научной среде зрели предпосылки для возникновения новой эволюционной теории.

Социально-экономические предпосылки. Развитие капитализма и резкий рост городского населения в развитых странах требовал быстрого развития сельского хозяйства. В самой передовой стране того времени — Англии успешно развивались промышленное животноводство и растениеводство. За короткий срок были созданы новые породы овец, свиней, выведены высокоурожайные сорта культурных растений; разработаны методы селекции, которые позволяли максимально быстро изменять в нужном направлении породы животных и сорта растений. Результаты этой работы противоречили догматам церкви о неизменности видов.

Расширение торговли, налаживание связей с другими странами, освоение новых территорий позволили собрать огромные коллекции, которые являлись дополнительным материалом для переосмысления законов развития природы.

Еще в конце XVIII в. известный экономист Адам Смит создал учение, согласно которому устранение неприспособленных особей происходит в процессе свободной конкуренции.

Огромное влияние на развитие эволюционных идей в обществе оказал труд экономиста Томаса Мальтуса «Опыт о законе народонаселения». Впервые введя выражение «борьба за существование», Мальтус объяснял, что человеку, как и всем другим организмам, свойственно стремление к безграничному размножению. Однако нехватка ресурсов ограничивает рост численности человечества, приводя к нищете, голоду и болезням.

К середине XIX в. взгляды креационистов уже резко противоречили всему ходу развития науки и практики. Многие ученые поддерживали и пропагандировали идеи эволюционного развития. Находили своих сторонников идеи эволюции и в России.

В XVIII в. развивал материалистические идеи о единстве и развитии мира философ-демократ Александр Николаевич Радищев. Изучая домашних и диких животных, Афанасий Каверзнев объяснял многообразие животного мира существованием изменчивости.

Александр Иванович Герцен высказывал предположение, что психическая деятельность людей не является божественным знаком, а представляет собой логический итог постепенного развития нервной деятельности у животных.

Труды российского естествоиспытателя Карла Францевича Рулье заложили основы эволюционной палеонтологии. Ученый выдвинул положение о том, что изменения животных обусловлены двумя причинами: особенностями самого организма (наследственностью) и влиянием внешних факторов.

Назревала насущная необходимость создания эволюционной теории, которая бы ответила на все накопившиеся в обществе вопросы и объяснила, какие механизмы лежат в основе развития природы от простого к сложному; почему появляются одни и вымирают другие виды; чем обусловлена целесообразность возникающих приспособлений.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие данные геологии послужили предпосылкой эволюционной теории Ч. Дарвина?
2. Назовите открытия в биологии, способствовавшие формированию эволюционных взглядов Ч. Дарвина.
3. Охарактеризуйте естественнонаучные предпосылки формирования эволюционных взглядов Ч. Дарвина.
4. В чем сущность принципа корреляции Ж. Кювье? Приведите примеры.
5. Какую роль в формировании эволюционной теории сыграло развитие сельского хозяйства?

4.4. Эволюционная теория Чарлза Дарвина

Вспомните!

Какие виды изменчивости вам известны?

Что такое искусственный отбор?

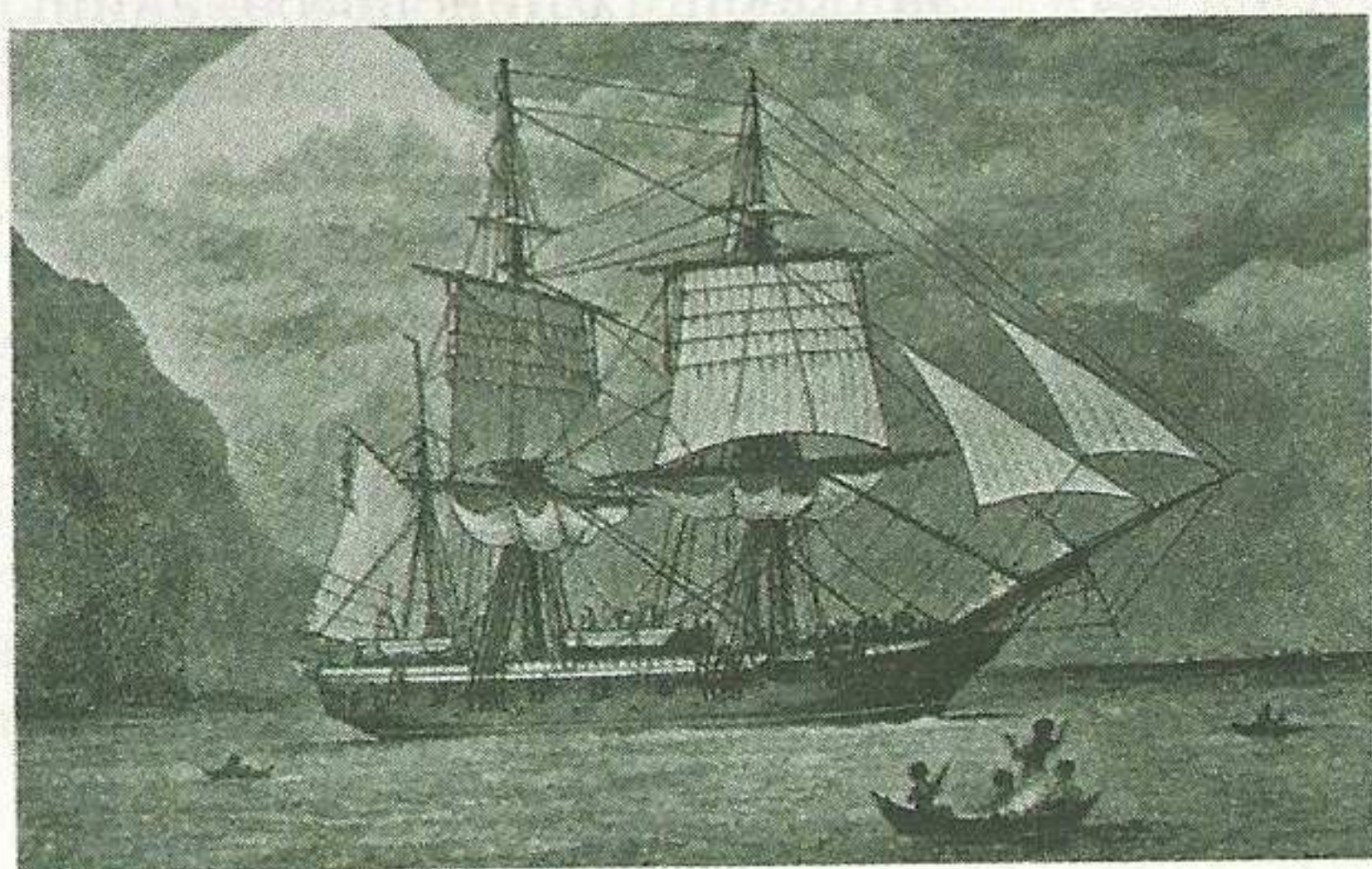
Основной труд Ч. Дарвина, в котором была изложена теория эволюции, называется «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь»; он был опубликован в 1859 г. В первый же день был раскуплен весь тираж, огромный по тем временам — 1250 экземпляров. Появлению этой работы предшествовали почти 30 лет научных поисков и размышлений.

Участие в экспедиции. В 1831 г. Дарвина предложили совершить пятилетнее кругосветное плавание на военном корабле «Бигль» в каче-

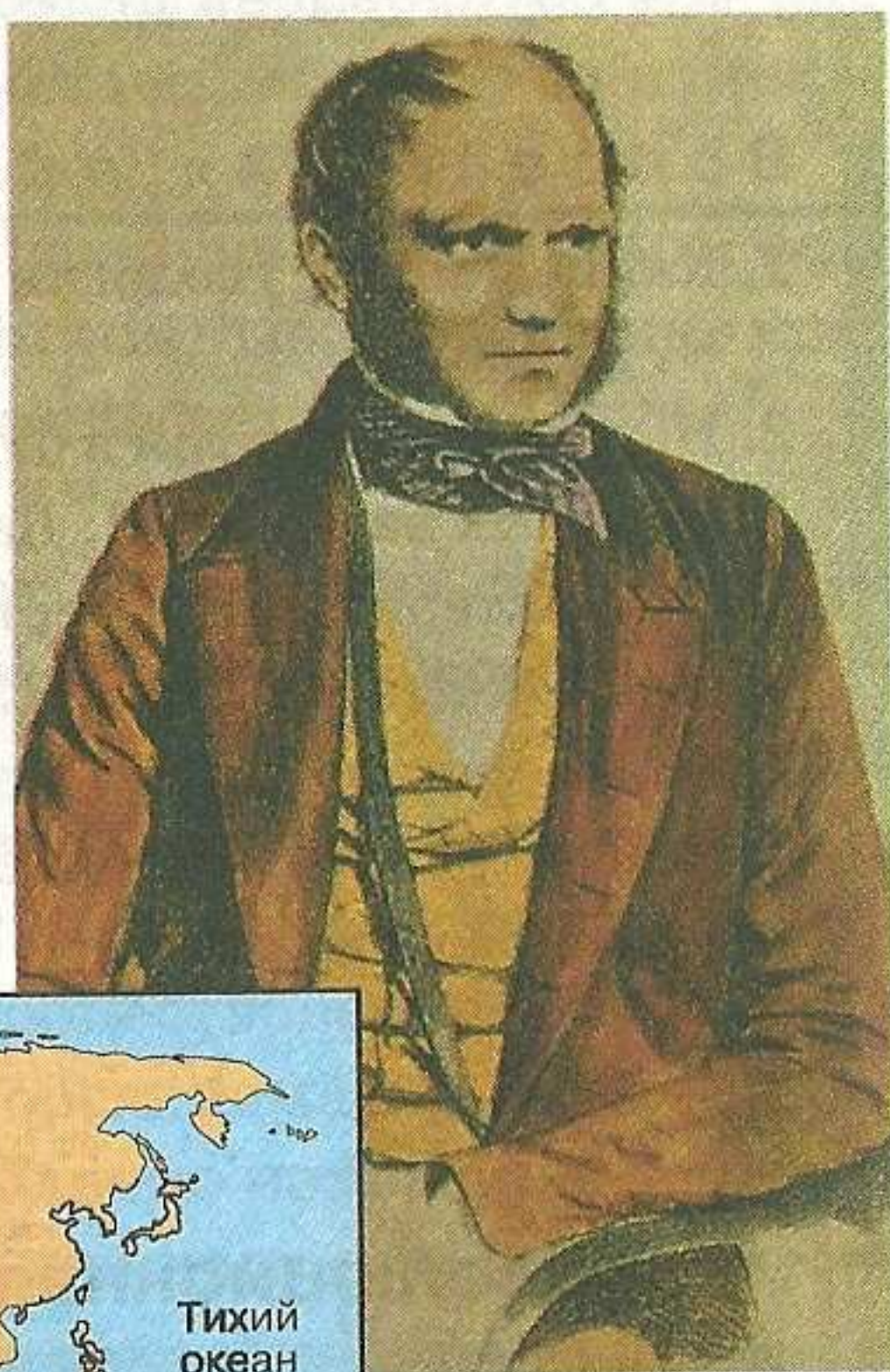
стве натуралиста. Молодой исследователь получил возможность изучать природу самых отдаленных уголков земного шара (рис. 101).

В Южной Америке Дарвин нашел ископаемые остатки гигантских ленивцев и броненосцев. Современные виды этих животных, обитающие в тех же местах, были очень похожи на вымерших, что навело Дарвина на мысль о возможном родстве этих организмов (рис. 102).

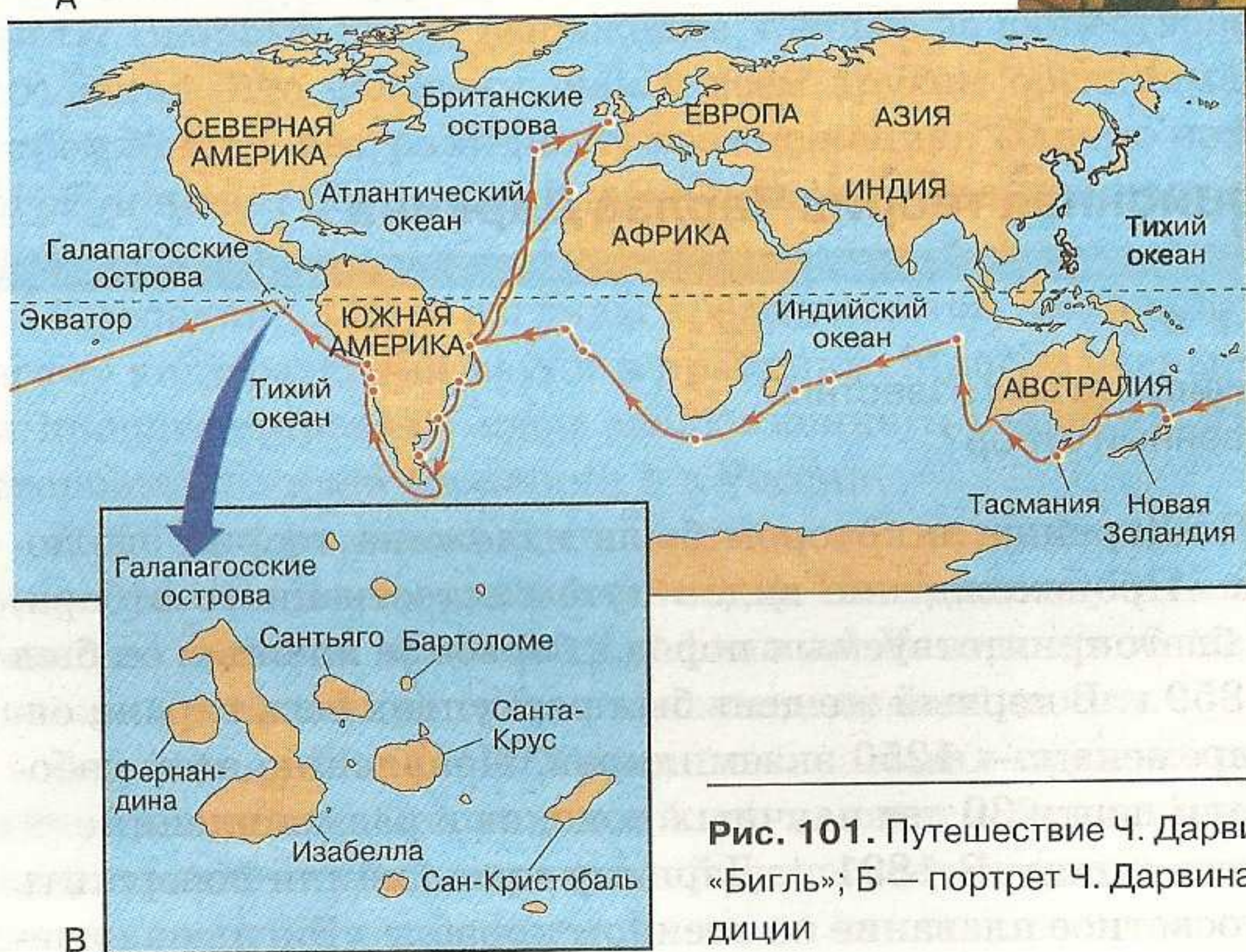
На Галапагосских вулканических островах Дарвин обнаружил разнообразные виды вьюрков, которые отличались по размеру и строению



А



Б



В

Рис. 101. Путешествие Ч. Дарвина: А — корабль «Бигль»; Б — портрет Ч. Дарвина; В — маршрут экспедиции

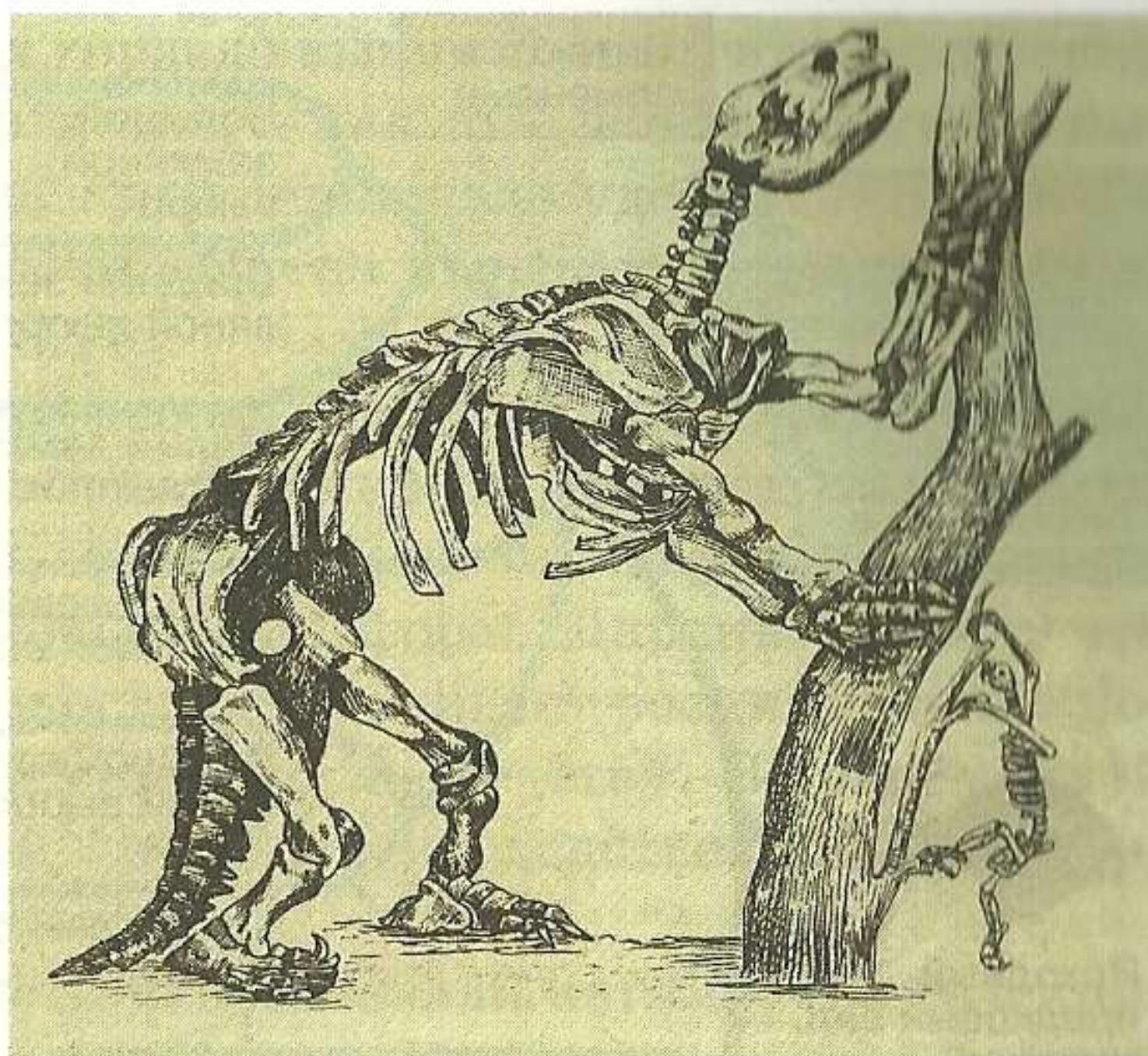


Рис. 102. Скелеты ленивцев Южной Америки (справа — современный вид, слева — ископаемый)

клюва, но были очень похожи на материковый вид (рис. 103). Дарвин предположил, что когда-то птицы попали на острова с материка и видоизменились, приспособившись к разным источникам питания (твердые семена, фрукты, насекомые).

В Австралии ученого поразила удивительная древняя фауна: сумчатые и яйцекладущие млекопитающие, которые давно вымерли в других местах земного шара.

Путешествие сыграло определяющую роль в формировании научных взглядов Дарвина. Поднявшись на корабль сторонником неизменности живой природы, пять лет спустя при возвращении домой Дарвин был убежден, что виды способны изменяться и давать начало другим видам.

Учение Ч. Дарвина об искусственном отборе. Данные, собранные Дарвином в экспедиции и накопленные в научных изысканиях его современниками, указывали на существование изменчивости живого мира. Однако механизмы этих изменений оставались неизвестными.

Вернувшись в Англию, Дарвин продолжил свои научные исследования. Он обратил внимание на существование двух противоположных явлений: наследственности и изменчивости. В те времена было еще неизвестно, какова природа этих двух свойств живых организмов, но Дарвин абсолютно верно понял, что именно наследственность и изменчивость лежат в основе эволюционных преобразований. Дарвин различал определенную и неопределенную изменчивость.

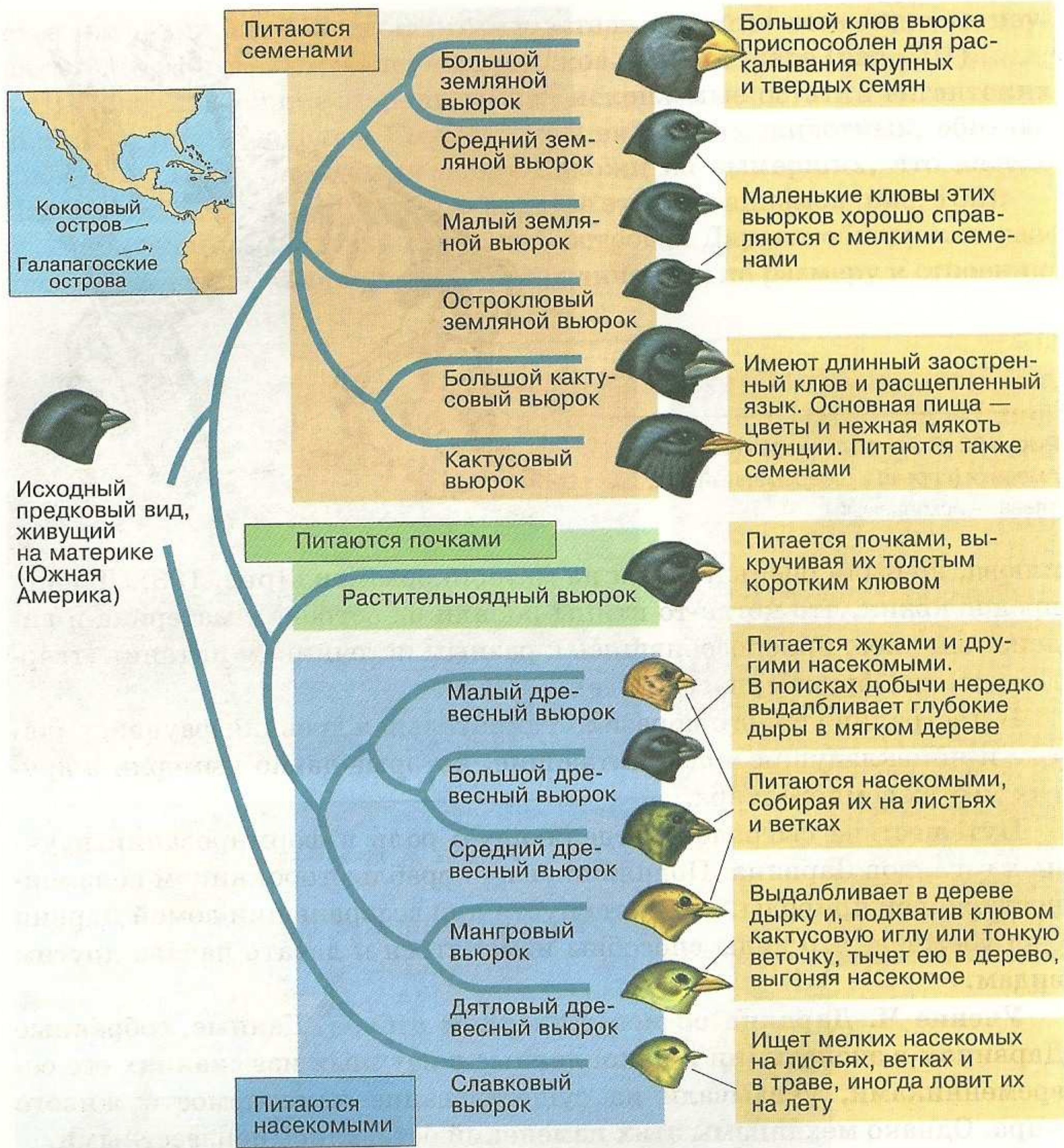


Рис. 103. Виды вьюрков, обитающие на Галапагосских островах

Определенная, или групповая, изменчивость возникает под влиянием факторов внешней среды и у всех особей проявляется одинаково. Например, при улучшении качества кормов коровы больше производят молока, а при внесении на поля удобрений урожай сельскохозяй-

зайственных культур становится гораздо выше. Однако эти изменения не передаются следующему поколению, и для того чтобы получить высокий урожай на следующий год, поля снова надо удобрять. В настоящее время эту форму изменчивости обычно называют ненаследственной, или фенотипической (см. § 3.16).

Гораздо больше Дарвина заинтересовала другая форма изменчивости — *неопределенная*, или *индивидуальная*. Неопределенная изменчивость — это появление у отдельной особи нового проявления признака, которого не было у предковых форм. Дарвин считал, что именно неопределенная изменчивость обеспечивает возникновение новых видов, потому что она передается по наследству. В современной биологии известно, что основной причиной наследственной изменчивости являются мутации (см. § 3.16).

Именно эту форму изменчивости использовали английские селекционеры при создании новых пород животных. К тому времени в Англии было выведено более 150 пород голубей, множество пород собак, кур, крупного рогатого скота и т. д. Сторонники неизменности видов утверждали, что каждая порода имеет своего дикого предка. Дарвин доказал, что это не так. Все породы кур происходят от дикой банкивской курицы, породы крупного рогатого скота — от диких туров, а все удивительное разнообразие голубей — от дикого скалистого голубя (рис. 104).

Разводя домашних животных и культурные растения, английские фермеры искали среди потомства тех особей, у которых нужный признак был выражен наиболее ярко. Отобранные экземпляры скрещивали между собой и из организмов следующего поколения вновь отбирали те формы, у которых нужный человеку признак был выражен лучше всего. От одной исходной формы одновременно можно было получить множество разных сортов или пород, если вести отбор по разным признакам. Следовательно, при выведении новых сортов и пород человек использовал искусственный отбор.

Искусственным отбором называют процесс создания новых пород животных и сортов растений путем систематического сохранения и размножения особей с определенными, ценными для человека признаками и свойствами в ряду поколений. ■

■ Иногда к возникновению породы приводит одиночная крупная мутация. Так появилась анконская порода коротконогих овец, такса, утка с кривым клювом, а в 2004 г. в США была обнаружена кошка с укороченными лапками, которая дала начало новой породе.

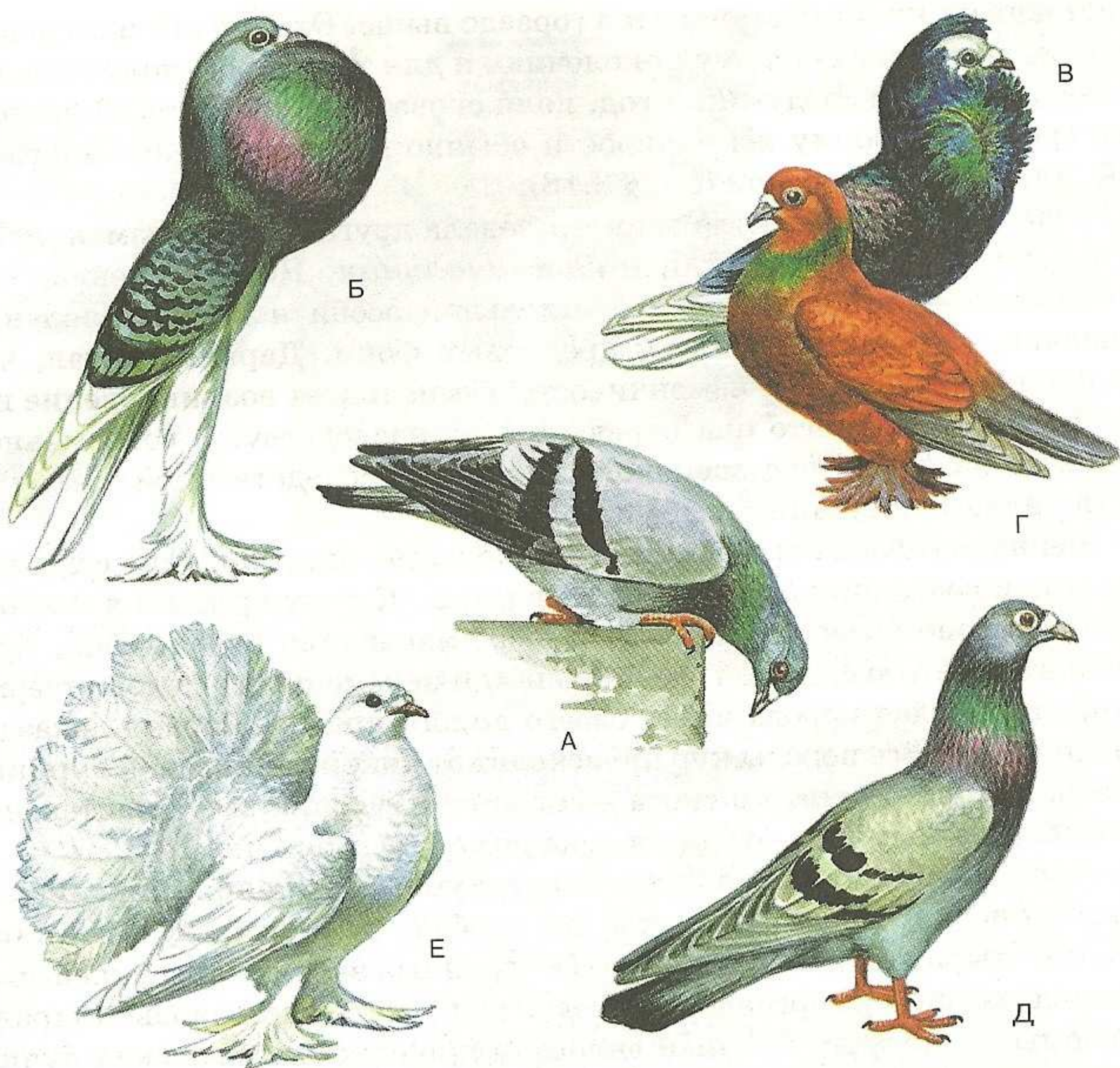


Рис. 104. Породы голубя: А — дикий голубь; Б — дутыш; В — яacobинец; Г — турман; Д — почтовый голубь; Е — павлинный голубь

Искусственный отбор осуществлялся человеком во все времена, но в древности он был *бессознательным*. Наши далекие предки оставляли лучших животных или сохраняли для посева лучшие семена, исходя из практического опыта, не ставя перед собой определенной цели. Если же селекционер ставит перед собой конкретную задачу и ведет отбор по одному (двум) признакам, такой отбор называют *методическим*.

Учение Ч. Дарвина о естественном отборе. В искусственных условиях фактором, отбирающим тот или иной организм, является человек. Дарвин считал, что если бы ему удалось обнаружить в природе

аналогично действующий фактор, проблема происхождения видов была бы решена.

Под впечатлением от прочитанной работы Т. Мальтуса о стремлении организмов к безграничному размножению Дарвин проанализировал закономерности размножения различных организмов. За 750 лет потомство одной пары слонов, самых медленно размножающихся животных, может составить 19 млн особей. Устрица откладывает 1 млн яиц за сезон, а известный всем гриб-дождевик производит 700 млрд спор, и тем не менее земной шар не покрывается устрицами и грибами. Несмотря на то, что особи стремятся к размножению в геометрической прогрессии, количество взрослых особей каждого вида остается приблизительно постоянным. Иными словами, большая часть потомков гибнет в *борьбе за существование*, не достигнув половой зрелости.

Дарвин выделил три формы борьбы за существование: межвидовую, внутривидовую и борьбу с неблагоприятными факторами внешней среды.

Межвидовая борьба — это взаимоотношения между особями разных видов. Они могут быть очень острыми (хищники поедают травоядных животных, травоядные вытаптывают растительность, паразиты заражают хозяина) или приносить пользу обоим видам, увеличивая их шанс на выживание (птицы питаются семенами и одновременно их распространяют).

Внутривидовая борьба происходит между особями одного вида. Эта борьба носит наиболее острый характер, потому что организмы, принадлежащие к одному и тому же виду, имеют сходные потребности. У животных эта борьба проявляется в конкуренции за пищу и территорию, у многих растений — в затенении других особей за счет более быстрого роста. Самцы многих видов в период размножения вступают в борьбу за право создать семью. Брачные турниры приводят к половому отбору, когда потомство оставляет более сильный самец, а слабые или больные исключаются из процесса размножения, и их гены не передаются потомкам.

Борьба с неблагоприятными факторами внешней среды имеет большое значение в выживании организмов. В засушливое лето гибнут многие растения, наводнение уносит жизни многих животных, не все организмы могут пережить морозную зиму.

В борьбе за существование одни особи успешно справляются с этой задачей, другие не могут оставить потомства или гибнут. Как правило, оставляют потомство в основном организмы с полезными для данных условий обитания признаками. Результатом борьбы за существование является естественный отбор.

Процесс выживания и размножения наиболее приспособленных особей Дарвин назвал **естественным отбором**, главной движущей силой, направляющей эволюционный процесс. Материалом для этого отбора служит наследственная изменчивость. В процессе естественного отбора происходит постепенное накопление полезных для группы организмов изменений, что приводит к формированию нового вида.

Значение теории Дарвина. Дарвин не был первым ученым, создавшим теорию эволюции. Его заслуга состоит в том, что он впервые научно объяснил механизмы эволюции вообще и видообразования в частности. Основными факторами эволюции Дарвин считал наследственную изменчивость, борьбу за существование и естественный отбор. ■

■ Дарвин иллюстрировал свою точку зрения на том же примере, который использовал в свое время Ж. Б. Ламарк для объяснения своей теории эволюции, — на жирафе. Дарвин предположил, что в некой предковой популяции жирафов отдельные особи слегка различались по длине шеи и ног. Это предположение вполне правомочно, потому что двух одинаковых особей не бывает ни в одной популяции. В периоды нехватки корма в саванне животные разного роста вынуждены были вступать в конкуренцию за листву деревьев (внутривидовая борьба за существование). Более высокие животные могли дотянуться до листьев, растущих на верхних ветвях и не доступных низкорослым особям. Поэтому жирафы низкого роста погибали, а вместе с ними из популяции исчезали и такие признаки, как короткие ноги и шея. Длинная шея и длинные ноги современного жирафа — результат преимущественного выживания из поколения в поколение и размножения более высоких особей.

Учение Дарвина служит естественнонаучной основой для материалистического объяснения целесообразности строения живых организмов, происхождения и многообразия видов и является одним из крупнейших достижений естествознания XIX в. ■

■ Одновременно с Ч. Дарвином к тем же выводам о механизмах эволюции пришел другой естествоиспытатель — Алфред Рассел Уоллес. В июле 1858 г. Дарвин и Уоллес вместе выступили с докладами о своих идеях на заседании Линнеевского общества в Лондоне. В дальнейшем Уоллес полностью признал приоритет Дарвина и ввел термин «дарвинизм» для обозначения новой теории эволюции.

Теория эволюции, предложенная Дарвином, в дальнейшем была расширена и переработана в свете новых данных генетики, молекулярной биологии, палеонтологии, экологии и получила название *синтетической теории эволюции*.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие наблюдения Ч. Дарвина поколебали его веру в неизменность видов?
2. Каковы причины возникновения групповой изменчивости?
3. Что такое искусственный отбор?
4. Каковы причины борьбы за существование в живой природе?
5. Следствием каких взаимоотношений является естественный отбор?
6. Какова роль естественного отбора в эволюции?

4.5. Вид: критерии и структура

Вспомните!

Какие вам известны уровни организации живой природы?

Что такое вид?

Какие другие систематические категории вам известны?

В основе эволюционной теории Ч. Дарвина лежит представление о виде. Что же такое вид и насколько реально его существование в природе?

Первое представление о виде было создано еще Аристотелем, который определял вид как совокупность сходных особей. Сам термин «вид» (*species*) в переводе с латыни означает «образ». Это слово точно определяет тот основной критерий, который использовали исследователи вплоть до XIX в. при определении видовой принадлежности любого организма. Известный ученый К. Линней, создавший учение о виде, считал, что вид состоит из многих схожих особей, дающих плодовитое потомство.

В современной биологии *видом* называют совокупность особей, обладающих сходными морфологическими и физиологическими признаками, способных к скрещиванию с образованием плодovитого потомства, населяющих определенный ареал (область обитания), имеющих общее происхождение и сходное поведение.

Биологический вид — это не только основная таксономическая единица в биологической систематике. Это целостная структура живой природы, которая репродуктивно изолирована от других подобных структур и имеет свою собственную судьбу. Целостность этой системе придают, во-первых, процессы взаимодействия между отдельными особями. Взаимоотношения между организмами разных поколений, между родителями и детьми, самцами и самками, особенности территориального поведения — все это определяет внутреннюю структуру вида. Не всегда видовые признаки обеспечивают выживание отдельной особи, но они всегда благоприятны для вида в целом. Например, пчела, потерявшая жало, погибнет, но при этом защитит остальных особей.

Вторая причина сохранения единства и целостности вида — это репродуктивная изоляция, т. е. невозможность скрещивания с особями другого вида. Так осуществляется защита *генофонда вида* (всей совокупности генов вида) от притока чужеродной генетической информации. Существуют различные факторы, препятствующие межвидовому скрещиванию. Например, в Калифорнии растут два близких вида сосны. У одного из них пыльца высыпается в начале февраля, а у другого — в апреле, поэтому между этими видами существует сезонная изоляция. У высших животных брачное поведение имеет характерные видовые особенности, поэтому самки одного вида не реагируют на ухаживание самцов другого близкого вида — это пример поведенческой изоляции (рис. 105).

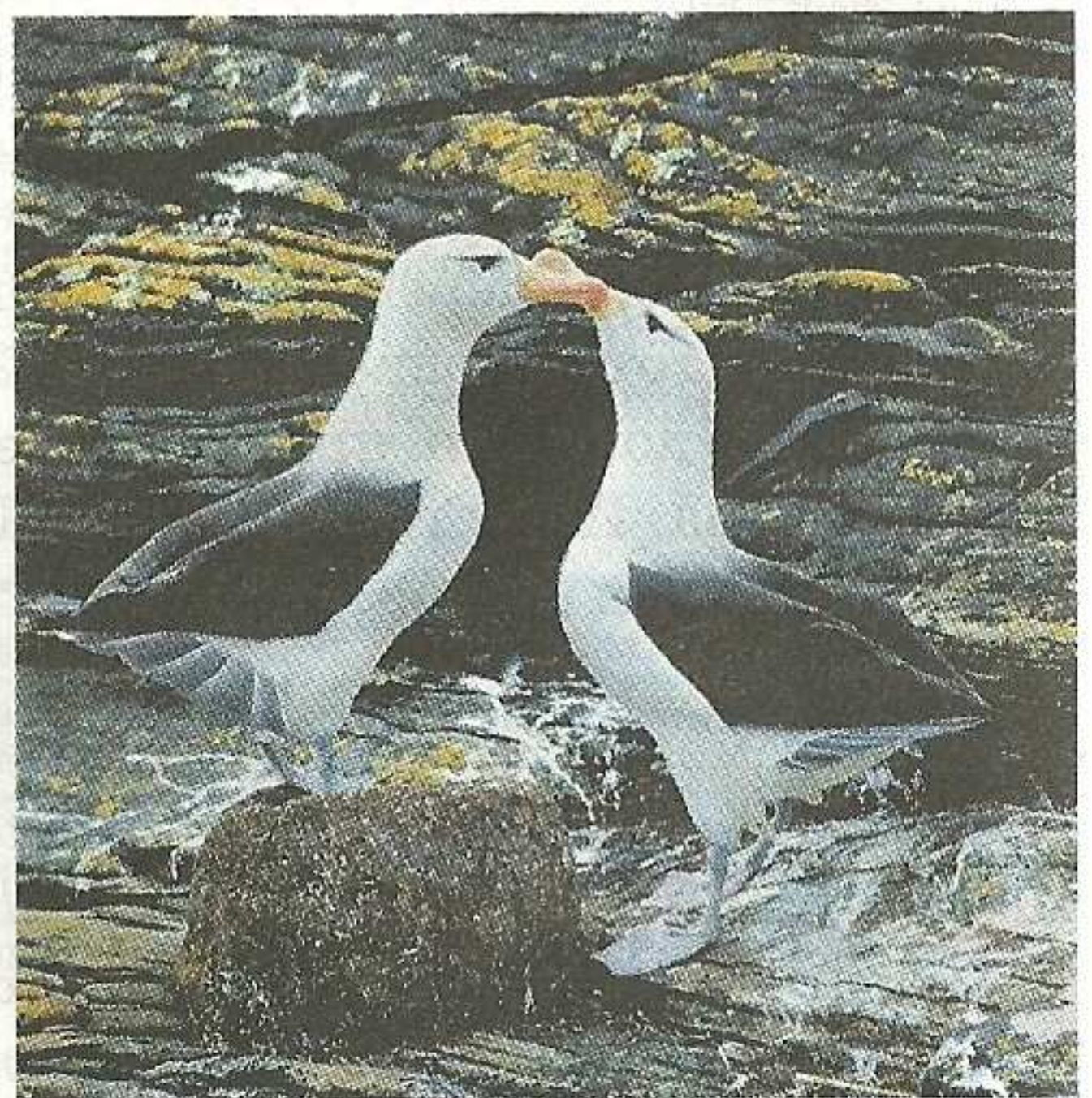
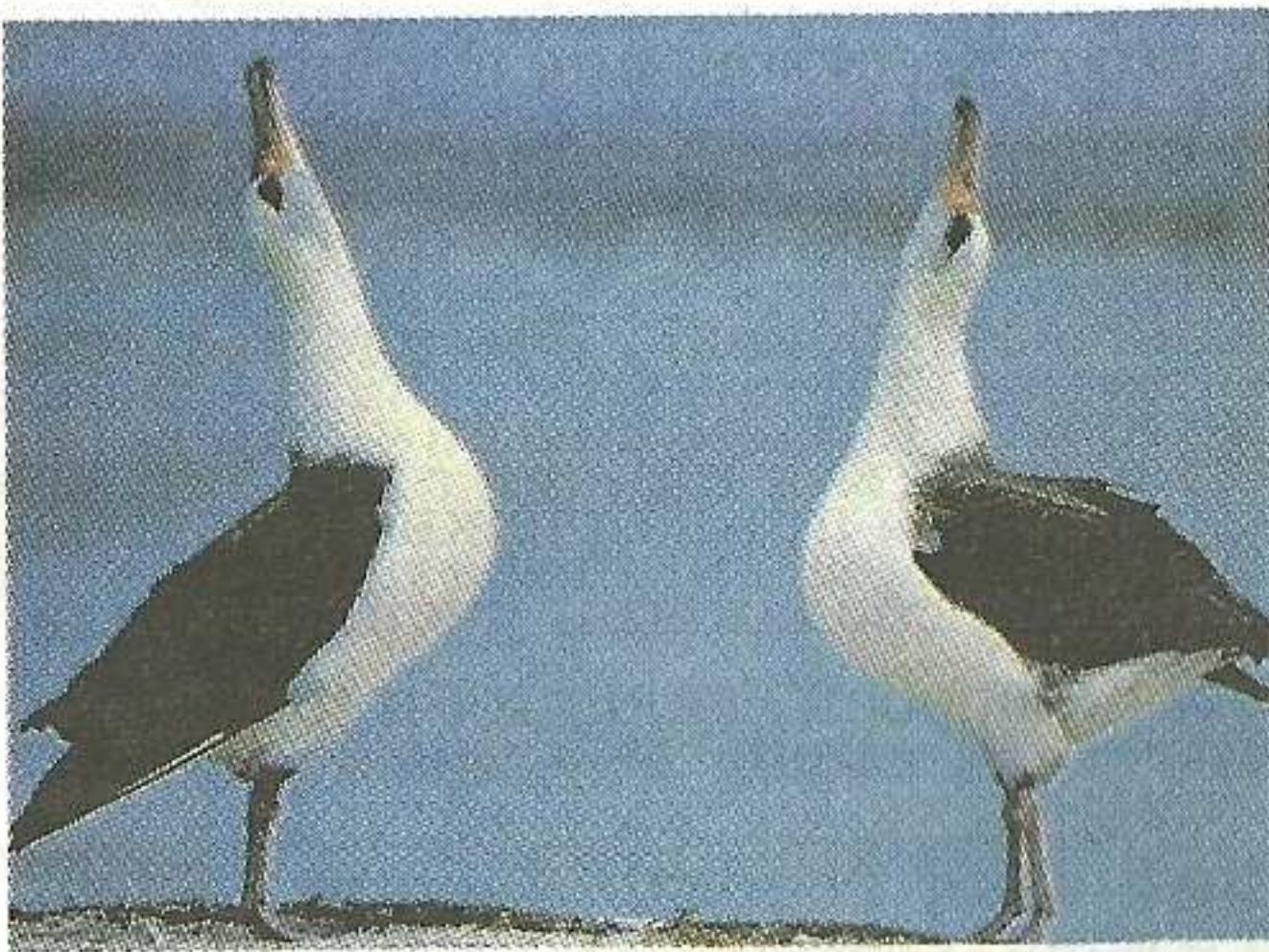


Рис. 105. Разные типы брачного поведения двух близких видов чаек

Наличие репродуктивной изоляции в природных условиях является решающим фактором в определении вида как генетически закрытой биологической системы.

Характерные признаки и свойства, которыми одни виды отличаются от других, называют критериями вида.

Критерии вида. Существует несколько основных критериев вида.

Морфологический критерий заключается в сходстве внешнего и внутреннего строения организмов. Долгое время этот критерий был главным, а порой единственным. С его помощью легко определяют особи близких видов. Различить кошку и мышь сможет даже маленький ребенок, мышь и крысу — любой взрослый человек, а вот отличить домовую и малую мышь сможет только специалист. Существуют специальные определители, которые основаны на морфологических особенностях организации. Однако внутри вида всегда существует структурная изменчивость между разными особями, поэтому порой бывает достаточно сложно определить вид конкретной особи.

Генетический критерий. Иногда среди очень похожих особей обнаруживаются группы, которые не скрещиваются друг с другом. Это так называемые виды-двойники, которые встречаются практически во всех крупных систематических группах и отличаются друг от друга числом хромосом. Например, среди насекомых существуют два широко распространенных вида наездников, которые до последнего времени рассматривались как единый вид (рис. 106).



А



Б



Рис. 106. Виды-двойники. Насекомые наездники (А, Б), имеющие разные кариотипы (В): $2n = 10$ и $2n = 14$

Каждый вид имеет определенный набор хромосом — кариотип, который отличается числом хромосом, их формой, размерами, строением. Различное число хромосом в кариотипе разных видов и видовые отличия геномов обеспечивают генетическую изоляцию при межвидовом скрещивании, потому что вызывают гибель гамет, зигот, эмбрионов или приводят к рождению бесплодного потомства (лошак — гибрид коня и ослицы). Именно использование генетического критерия позволяет надежно различать виды-двойники.

Физиологический критерий отражает сходство всех процессов жизнедеятельности у особей одного вида: одинаковые способы питания, размножения, сходные реакции на внешние раздражители, одинаковые биологические ритмы (периоды спячки или миграции). Например, у двух близких видов плодовой мушки дрозофилы половая активность наблюдается в разное время суток: у одного вида — по утрам, у другого — в вечерние часы.

Биохимический критерий определяется сходством или различием строения белков, химического состава клеток и тканей. Например, отдельные виды низших грибов отличаются друг от друга способностью синтезировать разные биологически активные вещества.

Экологический критерий характеризуется определенными формами взаимоотношений организмов данного вида с представителями других видов и факторами неживой природы, т. е. теми условиями, в которых этот вид встречается в природе. В Техасе близкие виды дуба растут на разных почвах: один вид встречается только на известняковой почве, другой — на песчаной, а третий растет на выходах магматических пород.

Географический критерий определяет область распространения, т. е. *ареал* вида. У разных видов размер ареалов очень сильно отличается. Виды, занимающие обширные площади и встречающиеся повсеместно, называются *космополитами*, а обитающие на небольших территориях и не встречающиеся в других местах, — *эндемиками*.

Таким образом, для определения видовой принадлежности организма необходимо использовать все критерии в совокупности, потому что отдельные критерии у разных видов могут совпадать.

Структура вида. Реально в природе особи любого вида внутри ареала распределены неравномерно: где-то они образуют скопления, а где-то могут вообще отсутствовать. Такие частично или полностью изолированные группировки особей одного вида называют популяция-

ми (от лат. *populus* — народ, население), т. е. в естественных условиях любой вид состоит из совокупности популяций.

Популяция — это совокупность особей одного вида, в течение достаточно длительного времени (большого числа поколений) населяющих определенную территорию внутри ареала вида, свободно скрещивающихся между собой и частично или полностью изолированных от особей других подобных совокупностей.

Именно популяция является элементарной единицей эволюции.

Вопросы для повторения и задания

1. Дайте определение вида.
2. Расскажите, какие биологические механизмы препятствуют обмену генами между видами.
3. В чем причина бесплодия межвидовых гибридов?
4. Какие критерии используют ученые для характеристики вида?
5. Что такое ареал вида?
6. Охарактеризуйте по основным критериям вид кошка домашняя.
7. Дайте определение понятию «популяция».

4.6. Популяция как структурная единица вида

Вспомните!

Что такое популяция?

Почему организмы большинства видов живут в природе группами?

Вид представляет собой сложную систему внутривидовых групп, складывающуюся в процессе эволюции в определенных условиях. Наиболее распространенной внутривидовой структурной единицей является *популяция*. Внутри популяции можно выделить более мелкие подразделения: стаи, семьи, прайды, которые менее устойчивы и могут легко исчезать, сливаться и образовываться заново (рис. 107). В пределах ареала вида популяции распределены, как правило, неравномерно. Это связано с условиями существования: там, где они наиболее благоприятны, количество популяций и их численность выше. На границах видового ареала популяции, как правило, немногочисленны.

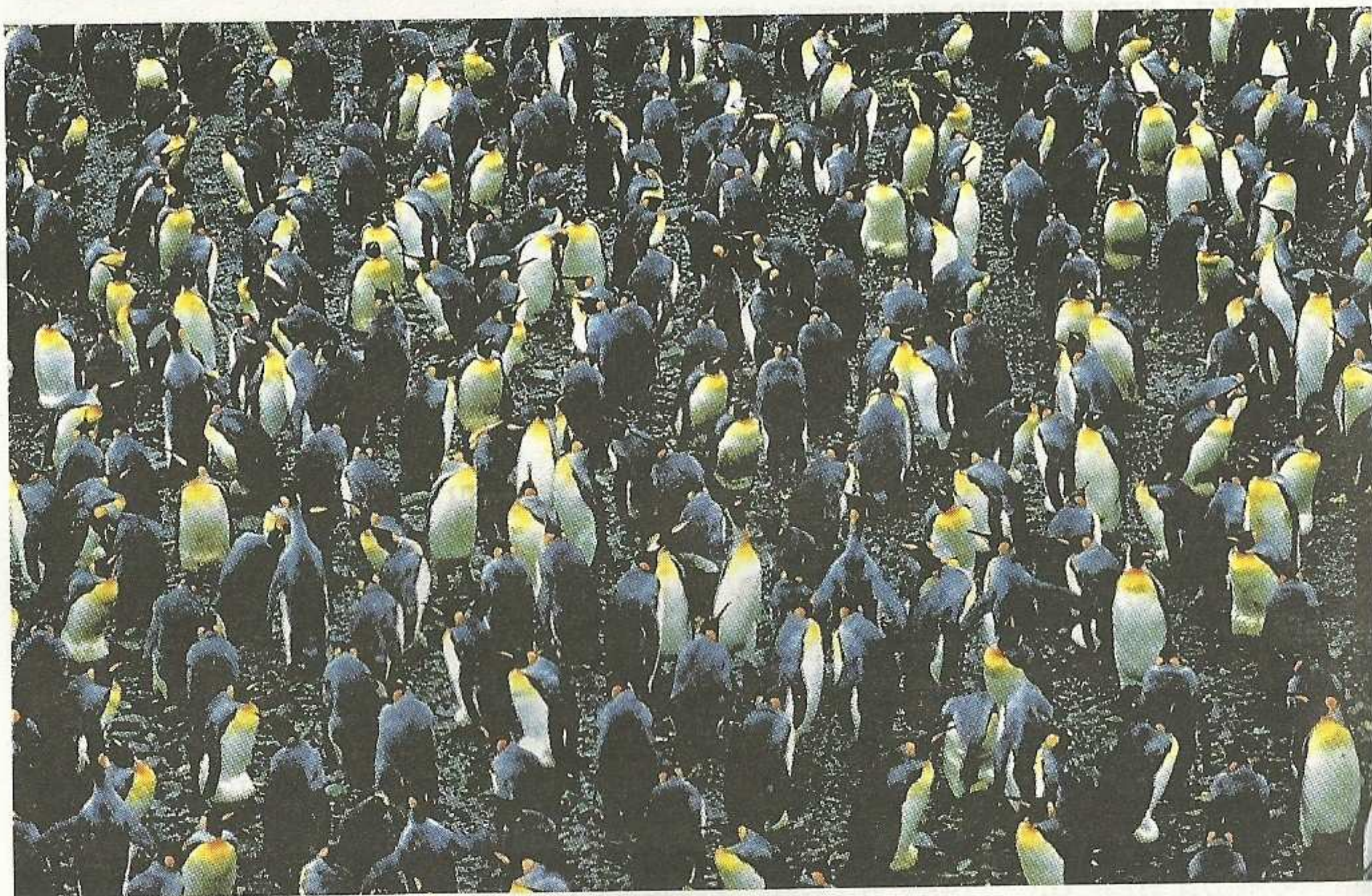


Рис. 107. Стаи птиц

Каждая популяция имеет определенную структуру и характеризуется конкретными параметрами.

Ареал популяции. У разных видов ареалы популяций могут существенно отличаться по протяженности. Популяции видов крупных животных имеют больший ареал, чем популяции мелких и малоподвижных животных. Примером больших непрерывных популяций могут служить злаки, растущие на равнинах и покрывающие площади шириной в десятки и сотни километров. Ареал популяции — непостоянная величина, он может расширяться или сокращаться, например в результате изменения численности особей.

Численность популяции и ее динамика. Численность популяции может меняться с течением времени как в результате изменений условий внешней среды, колебаний смертности и рождаемости, так и вследствие миграции особей.

Измерить *общую численность* популяции бывает достаточно сложно, поэтому часто пользуются таким показателем, как *плотность популяции* — число особей, обитающих на единице площади или сосредоточенных в единице объема (например, для водных животных). Плотность популяции очень сильно меняется в разные сезоны и годы. Такие колебания наиболее резко выражены в популяциях мелких организмов с короткими жизненными циклами. Например, массовое размножение зеленых водорослей в летний период вызывает цветение воды. Более стабильны численность и плотность популяций у крупных организмов (например, у древесных растений).

Демографическими показателями популяции служат рождаемость и смертность.

Рождаемость — это число новых особей, появившихся в популяции в результате размножения за единицу времени. *Смертность* — число особей, погибших за определенный период времени. Эти два фактора оказывают существенное влияние на количество особей в популяции и зависят не только от биологических особенностей вида, но и от многих внешних причин. Сильное влияние на рождаемость оказывает перенаселение. При увеличении плотности популяции животные начинают испытывать стресс, который приводит к выбросу определенных гормонов. В результате увеличивается частота выкидышей, животные теряют способность к спариванию, у них меняется репродуктивное поведение, возрастает агрессивность, ослабевает забота о потомстве и, как следствие, уменьшается рождаемость.

При описании процессов, происходящих в популяциях, часто важно знать не общую численность особей, а количество организмов, способных к размножению. Для обозначения числа размножающихся особей используют понятие *эффективная численность*.

Обычно численность популяции из года в год сохраняется около среднего уровня. Однако в определенные благоприятные для популяции годы ее численность может резко возрасти. Известны вспышки массового размножения непарного шелкопряда, саранчи и многих других видов. В связи с высоким урожаем кормов возрастает численность популяций зайцев, белок, леммингов. Резко увеличивается число особей видов, попадающих в новые регионы, где у них отсутствуют естественные враги (кролики в Австралии, ондатра в Европе). Популяция может очень быстро достичь максимально возможной величины, если исчезнут виды, сдерживающие ее рост. Так произошло с популяциями насекомых-вредителей в Китае после того, как там были уничтожены воробьи.

Если плотность популяции достигает или слишком высоких, или слишком низких значений, срабатывают определенные механизмы, восстанавливающие эту величину до оптимального для этого местообитания числа особей. Такую способность популяций к самоподдержанию называют *регуляцией численности*.

Существует множество механизмов регуляции численности, поэтому в природе редко происходят катастрофические колебания, которые подрывают ресурсы среды и приводят к гибели популяции.

Состав популяции. Каждую популяцию составляют особи, различающиеся по полу и возрасту.

Возрастная структура — соотношение в популяции особей разного возраста. Этот показатель зависит от продолжительности жизни особей, времени достижения ими половой зрелости, интенсивности размножения, смертности и т. д. Возрастная структура популяции может изменяться под действием внешних факторов, так как они контролируют и рождаемость, и смертность. Чем шире возрастной состав популяции, тем устойчивее она к действию внешних факторов. Знание возрастного состава популяции позволяет прогнозировать ее развитие на несколько лет вперед.

Популяции, состоящие из множества следующих друг за другом поколений, имеют сложную возрастную структуру. В других популяциях возрастная структура может быть очень простой, например у однолетних растений, где все особи равновозрастны.

Половая структура — соотношение особей разного пола. В большинстве популяций в соответствии с генетическими закономерностями соотношение полов составляет 1:1. Однако в результате разной выживаемости особей мужского и женского пола на различных этапах индивидуального развития это соотношение может значительно меняться.

Половая структура популяций не определяется у животных-гермафродитов (например, дождевых червей). У некоторых видов, которые способны размножаться без оплодотворения (дафнии, тли и др.), популяции на определенных стадиях жизненного цикла представлены только самками. В таких популяциях эффективность размножения достигает максимальных значений.

Будучи целостной динамической структурой, существующей во времени и пространстве, *популяция является элементарной биологической частью вида, способной к эволюционным изменениям.*

Вопросы для повторения и задания

1. Какими параметрами характеризуется каждая популяция?
2. Как вы думаете, почему нельзя изучить все признаки и свойства популяции или вида на примере одной особи?
3. При каких условиях численность популяции может быстро достичь максимально возможной величины?
4. От чего зависит возрастная структура популяции?
5. У каких популяций не определяется половая структура?

4.7. Популяция как единица эволюции

Вспомните!

Почему в природе биологические виды существуют в форме популяций?
Какие свойства могут характеризовать популяцию как группу организмов?

Элементарная единица эволюции. Процесс эволюции идет в течение тысяч и миллионов лет, поэтому он не может затронуть отдельную особь. Несмотря на то, что в течение жизни каждый организм претерпевает онтогенетические изменения, эволюционный процесс на уровне одного организма не происходит.

Элементарная единица эволюции должна удовлетворять определенным требованиям, а именно:

- выступать во времени и пространстве как некое единство;
- быть способной формировать резерв наследственной изменчивости и наследственно изменяться во времени;
- реально существовать в определенных природных условиях в течение долгого времени, соизмеримого со сроками видообразования.

Отдельный организм не удовлетворяет этим требованиям. Точно так же эти условия не соответствуют виду в целом, потому что, как нам уже известно, вид не существует в пространстве как единое целое. В пределах ареала вида особи распределены неравномерно: либо они образуют разобщенные группы, либо их плотность заселения сильно отличается в различных частях местообитания.

Приведенным выше условиям полностью удовлетворяет популяция. Она реально существует в природе, представляет некое единое целое во времени и пространстве и способна наследственно изменяться во времени. *Популяция* и является *элементарной единицей эволюции*.

Элементарное эволюционное явление. Популяция представляет собой совокупность организмов одного вида, каждый из которых обладает определенным генотипом. Совокупность генотипов всех особей популяции называют *генофондом* популяции.

Любая популяция гетерогенна (неоднородна) по своему генотипическому составу, т. е. в любой популяции генотипы особей отличаются друг от друга. Если условия окружающей среды достаточно постоянны в течение длительного времени, генофонд популяции остается практически неизменным относительно некоего среднего уровня. Однако, если условия изменятся, преимущество получают только особи, обладающие определенными свойствами и признаками, полезными для выживания в новых условиях. В результате полового размножения именно они смогут передать свои признаки и свойства, а следовательно, и гены, следующему поколению. Действуя на фенотипы, естественный отбор будет оставлять определенные генотипы, что приведет к направленному изменению генофонда популяции. Гены, отвечающие за более «выгодные» в данных условиях признаки, будут накапливаться из поколения в поколение, что приведет к изменению частот встречаемости этих генов в генофонде популяции.

Таким образом, в течение времени генофонд популяции способен изменяться, что приводит к адаптивному (приспособительному) измене-

■ В условиях Крайнего Севера в популяции песца преимущество будут иметь особи, обладающие густым мехом (рис. 108). В морозные зимы в первую очередь будут погибать те животные, чей меховой покров не достаточно теплый, соответственно они не смогут передать свои гены следующему поколению. Постепенно в генофонде популяции будут накапливаться гены, отвечающие за развитие густого и пышного зимнего наряда.

В данном примере элементарной единицей эволюции является популяция песцов. Материалом для эволюции служат разнообразные животные, отличающиеся друг от друга густотой зимнего мехового покрова. Элементарным эволюционным явлением будет постепенное накопление в генофонде данной популяции аллелей, отвечающих за формирование наиболее теплого и густого меха.

нию организмов популяции. При этом *эволюционным материалом* являются *генотипически различные особи*, т. е. материал для эволюции составляет наследственная изменчивость.

Направленное изменение генофонда популяции, приводящее к изменению организмов, — это элементарное эволюционное явление. ■

Условия, необходимые для осуществления эволюции. Итак, мы с вами определили, что элементарными эволюционными единицами являются популяции, элементарными эволюционными явлениями — изменения их генофондов, а материалом эволюции служит разнообразие особей в популяции, закрепленное в их генотипах. Однако наличие популяции еще не подразумевает существование эволюции — направленного изменения живых организмов.

Для того чтобы процесс эволюции был «запущен», необходимо давление на популяцию минимум трех типов факторов.

Во-первых, нужны факторы, вызывающие изменения в гено-



Рис. 108. Песец

фонде популяции (*наследственная изменчивость*, поставляющая в популяцию новый эволюционный материал, и *популяционные волны*, формирующие различия между генофондами разных популяций).

Во-вторых, нужен фактор, который разделит бы одну исходную популяцию на две или более новых (*изоляция*). Наличие нескольких популяций одного и того же вида, разделенных изоляционными барьерами, позволяет каждой из них развиваться самостоятельно, что в дальнейшем может привести к формированию новых видов.

Наконец, необходимо наличие фактора, который бы направлял эволюционный процесс, обеспечивая закрепление в популяции определенных адаптаций и изменений живых организмов (*естественный отбор*).

Все эти факторы вместе должны оказывать определенное давление на популяцию, определяя ее дальнейшую судьбу в структуре своего вида.

Вопросы для повторения и задания

1. Какими качествами должна обладать элементарная единица эволюции?
2. Что такое генофонд популяции?
3. Кто поставляет материал для эволюции?
4. Что является элементарным эволюционным явлением?
5. Назовите условия, необходимые для осуществления эволюции.

4.8. Факторы эволюции

Вспомните!

Какие существуют причины изменения численности особей в популяции?
В чем заключается роль мутаций в процессе эволюции?

Наследственная изменчивость. Фактором, который обеспечивает возникновение нового генетического материала в популяции и новых комбинаций этого материала, является наследственная, или гено-типическая, изменчивость. Существует две формы такой изменчивости: комбинативная и мутационная (§ 3.16).

Мутации с определенной частотой возникают у всех живых организмов. Разные гены изменяются приблизительно с равной вероятностью, поэтому мутационные изменения затрагивают все признаки и свойства

организмов, в том числе влияющие на жизнеспособность и размножение. Мутации возникают ненаправленно, не имеют приспособительного значения, т. е. обуславливают ту самую неопределенную наследственную изменчивость, о которой говорил Дарвин.

Доминантные мутации (B) проявляются в первом же поколении, и их дальнейшая судьба зависит от их значимости. Вредные мутации приведут к гибели организма или к снижению его жизнеспособности. Даже если особь не погибнет, у нее значительно снизится вероятность оставить потомство, т. е. естественный отбор довольно быстро удалит носителей таких мутаций из популяции. Нейтральные и полезные в данных природных условиях мутации сохранятся в следующих поколениях.

Однако гораздо чаще происходят рецессивные мутации (b), которые могут в течение длительного времени в скрытом виде передаваться из поколения в поколение. Носительство рецессивных мутаций (гетерозиготное состояние — Bb) в большинстве случаев не оказывает влияние на жизнеспособность особи и, следовательно, отбор на таких особей действовать не будет. С течением времени, когда в популяции накопится достаточное количество гетерозиготных особей, несущих такую мутацию, эти мутации могут перейти в гомозиготное состояние (bb). Дальнейшая судьба этих мутаций зависит от степени их значимости для организмов. Полезные признаки будут сохраняться в популяции, а обладатели вредных удаляться с помощью естественного отбора.

Степень «полезности» мутации определяется теми условиями среды, в которых обитает конкретная популяция. При изменении этих условий может изменяться и значимость мутаций: то, что вредно при сочетании одних факторов среды, может оказаться полезно в другой ситуации.

Количество возникающих мутаций выражают процентом гамет одного поколения, содержащих какую-либо вновь возникшую мутацию. У хорошо изученных видов плодовой мушки дрозофилы 25% всех половых клеток содержат ту или иную мутацию, у мышей и крыс — около 10%. Как видно из этих чисел, количество элементарного эволюционного материала достаточно велико.

Возникновение мутаций — элементарных единиц наследственной изменчивости приводит к увеличению генетического разнообразия популяции. Это разнообразие усиливается в результате создания случайных генетических комбинаций при скрещиваниях. Рецессивные мутации в гетерозиготном состоянии образуют скрытый резерв изменчи-

вости, который может быть использован при изменении условий существования популяции.

Мутационный процесс является лишь поставщиком элементарного эволюционного материала. Его давление на природные популяции всегда существует и поддерживает генетическое разнообразие этих популяций на высоком уровне. В то же время благодаря своей случайной природе мутационный процесс не способен оказывать направляющее влияние на процесс эволюции.

Популяционные волны. В естественных условиях численность популяции постоянно меняется (§ 4.6). Такие периодические и непериодические (случайные) колебания численности особей, составляющих популяцию, называют *популяционными волнами*. В результате неких случайных причин, таких как нехватка кормов, эпидемии или влияние хищников, количество особей в популяции может резко сократиться, т. е. носители определенных генотипов погибнут. В маленькой по размеру популяции некоторые особи, независимо от своего генотипа, в силу случайных причин могут оставить или не оставить потомства, что приведет к изменению частот встречаемости тех или иных аллелей в популяции. При этом некоторые аллели могут совсем исчезнуть из популяции. Процесс случайного ненаправленного изменения частот аллелей в популяции называют *дрейфом генов*. В итоге генофонд оставшейся популяции будет существенно отличаться от генофонда исходной популяции. Такое явление, при котором популяция проходит через период малой численности, получило название *эффект «бутылочного горлышка»*. Если в дальнейшем влияние неблагоприятных факторов исчезнет и популяция восстановит свою численность до исходного уровня, ее генотипическая структура будет являться отражением генотипов тех особей, которые прошли через «бутылочное горлышко» (рис. 109). В результате случайного дрейфа генов генетически однородные популяции, обитающие в сходных условиях, могут постепенно утратить свое первоначальное сходство. Таким образом, колебания численности (популяционные волны) вызывают изменения генетической структуры популяции.

Итак, наследственная изменчивость и популяционные волны относятся к первой группе факторов, которые вызывают случайные изменения в генофонде популяции. Однако для того, чтобы в дальнейшем популяция могла развиваться независимо на основе своего собственного генофонда, необходима ее изоляция от других подобных популяций.

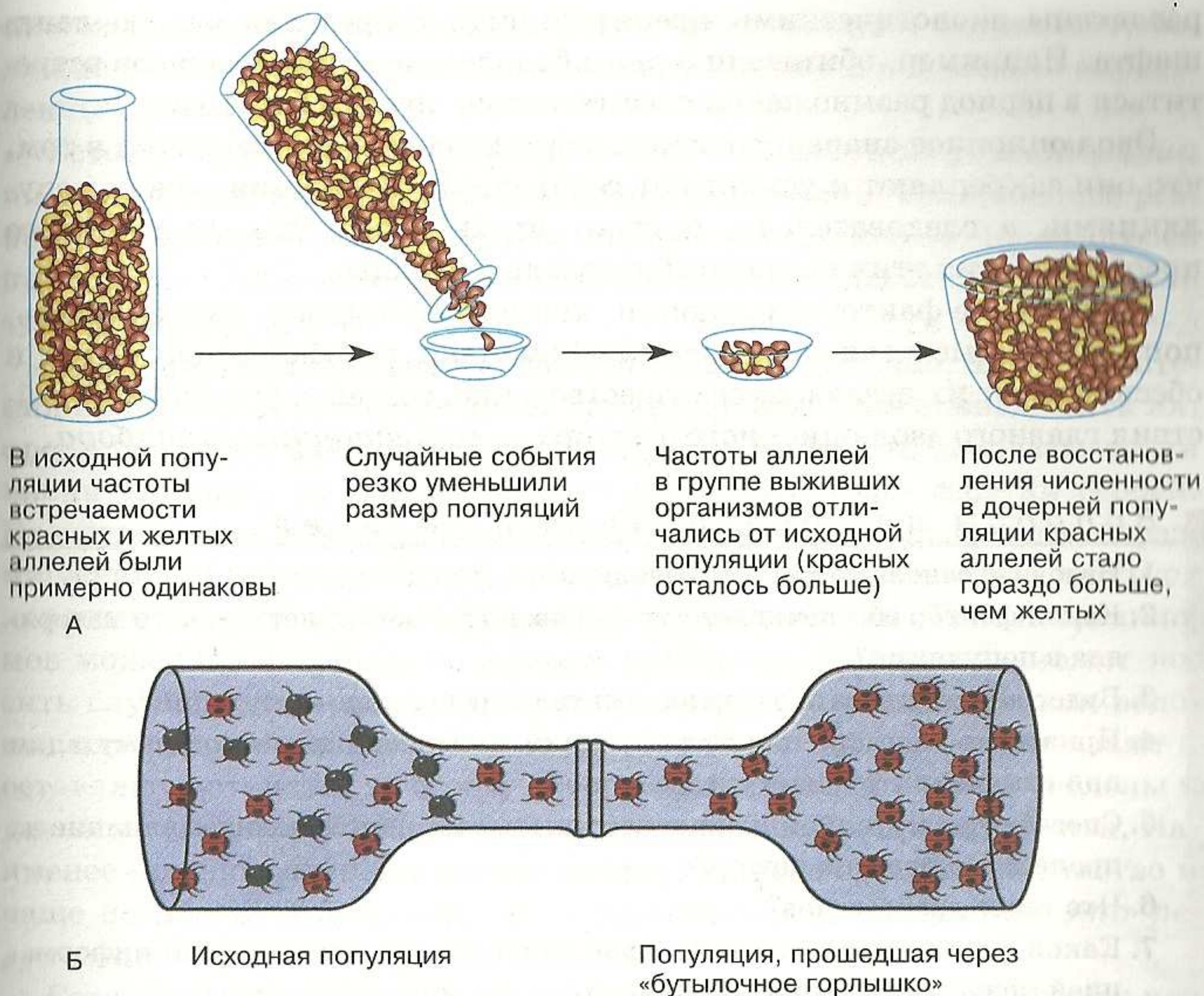


Рис. 109. Эффект «бутылочного горлышка»: А — семена фасоли; Б — популяция насекомых

Изоляция. *Изоляция — это ограничение или полное отсутствие скрещиваний особей разных популяций.* Пока между популяциями существует поток генов, они не могут накопить существенные генетические различия. Изоляция приводит к прекращению обмена наследственной информацией и превращает популяцию в самостоятельную генетическую систему.

Различают пространственную и экологическую изоляцию.

Пространственная изоляция связана с существованием географических преград между популяциями, например горных хребтов, пустыней, водоемов и др.

При *экологической изоляции* скрещивание между организмами различных популяций становится невозможным, если особи этих групп

разделены экологическими препятствиями в пределах одного ландшафта. Например, обитатели одного болота имеют мало шансов встретиться в период размножения с обитателями другого болота и т. п.

Эволюционное значение разных форм изоляции заключается в том, что они закрепляют и усиливают генетические различия между популяциями, а следовательно, создают предпосылки для дальнейшего преобразования этих популяций в отдельные виды.

Итак, такие факторы эволюции, как наследственная изменчивость, популяционные волны и изоляция изменяют генофонд популяций и обеспечивают их независимое существование, создавая условия для действия главного эволюционного фактора — *естественного отбора*.

Вопросы для повторения и задания

1. Назовите основные факторы эволюции.
2. Какой фактор обеспечивает возникновение нового генетического материала в популяции?
3. Будет ли действовать отбор на носителей рецессивных мутаций?
4. Приведите пример, иллюстрирующий изменение значимости мутации при изменении условий среды.
5. Способен ли мутационный процесс оказывать направляющее влияние на процесс эволюции и почему?
6. Что такое дрейф генов?
7. Какой фактор приводит к прекращению обмена генетической информацией между популяциями? Каково его эволюционное значение?

4.9. Естественный отбор — главная движущая сила эволюции

Вспомните!

Какие виды отбора вы знаете?

Назовите известные вам формы естественного отбора.

Естественный отбор — это преимущественное выживание и размножение наиболее приспособленных особей каждого вида и гибель менее приспособленных организмов. Принцип естественного отбора, который впервые выдвинул Ч. Дарвин, имеет основополагающее значение в теории эволюции. Именно естественный отбор яв-

ляется тем третьим необходимым фактором, который направляет эволюционный процесс и обеспечивает закрепление в популяции определенных изменений.

Естественный отбор основывается на *генетическом разнообразии* и *избыточной численности особей* в популяции. Генетическое разнообразие создает материал для отбора, а избыточное число особей приводит к возникновению конкуренции и, как следствие, к борьбе за существование (§ 4.4).

Большинство видов размножаются очень интенсивно. Многие растения производят громадное число семян, но лишь ничтожная часть их, прорастая, дает начало новым растениям. Рыбы откладывают сотни тысяч икринок, но половозрелости достигают лишь десятки особей. Несоответствие между потенциальными возможностями видов к размножению в геометрической прогрессии и ограниченностью ресурсов является главной причиной борьбы за существование. Гибель организмов может происходить по разным причинам. Иногда она может носить случайный характер, например в результате пересыхания водоема или пожара. Однако обычно с большей вероятностью выживают и оставляют потомство те особи, которые максимально приспособлены к данным условиям обитания и имеют определенные преимущества. Наименее приспособленные имеют меньше шансов оставить потомство и чаще погибают. Таким образом, *естественный отбор — это результат борьбы за существование*.

Естественный отбор играет в природе творческую роль, потому что из всего многообразия ненаправленных наследственных изменений он отбирает и закрепляет только те, которые обеспечивают популяции или виду в целом оптимальные приспособления к данным условиям существования.

В настоящее время благодаря развитию генетики представления об отборе значительно расширились и пополнились новыми фактами. Различают несколько форм естественного отбора.

Движущая форма отбора. В популяции, которая в течение длительного времени находилась в стабильных условиях существования, выраженность определенных признаков варьирует относительно некой средней величины. Максимальное количество особей данной популяции оптимально приспособлено к конкретным условиям. Однако, если условия внешней среды начинают меняться, преимущество могут получить особи, чье проявление признака отклоняется от средней вели-

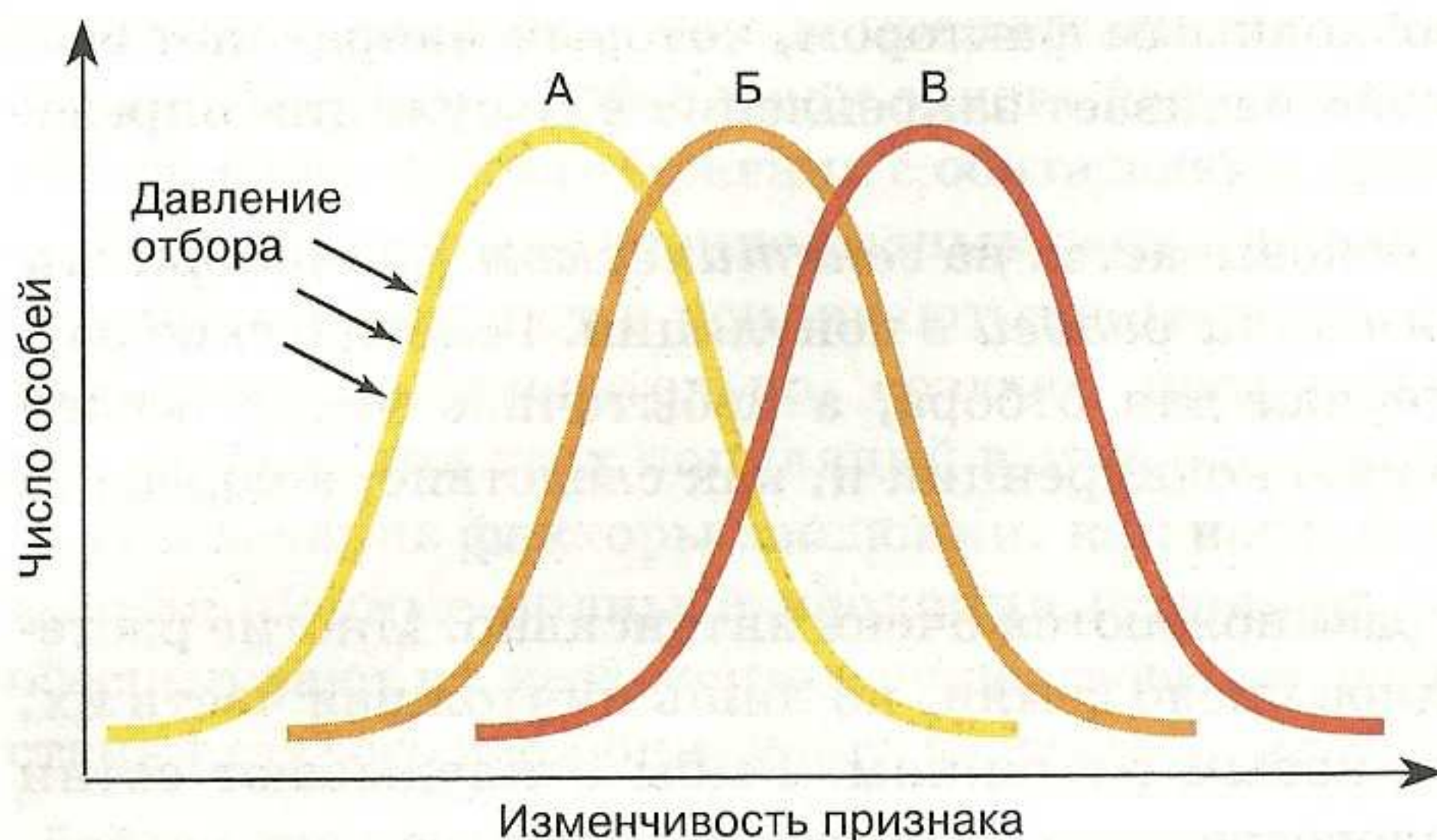


Рис. 110. Движущая форма естественного отбора: А, Б, В — последовательные изменения среднего значения признака

чины. Давление отбора будет приводить к сдвигу среднего значения признака или свойства в популяции и появлению новой оптимальной средней величины, соответствующей изменившимся условиям (рис. 110). Изменение большинства признаков под действием отбора может происходить достаточно быстро, потому что в любой популяции существует огромное генетическое разнообразие.

Рассмотрим один из классических примеров, доказывающих существование в природе движущей формы естественного отбора, — явление индустриального меланизма у бабочки березовой пяденицы (рис. 111). Окраска крыльев этой сумеречной бабочки очень похожа на окраску коры деревьев, покрытых лишайниками. На таких стволах березовые пяденицы проводят светлое время суток, хорошо маскируясь и прячась от своих естественных врагов — птиц. Активное развитие промышленности в Англии в XVIII—XIX вв. привело к сильному загрязнению лесов. В результате в промышленных районах большинство лишайников погибло, а стволы берез потемнели от копоти. Светлые бабочки стали очень хорошо заметны на таких деревьях, и их начали активно склевывать птицы. В создавшихся условиях преимущество получили более темные особи. Развитие промышленности привело к тому, что редкие темные бабочки стали наиболее типичными, а светлые особи, наоборот, стали встречаться чрезвычайно редко. Естественный отбор смещал среднее значение признака (в данном случае — окраски) до тех пор, пока популяция не приспособилась к новым условиям существования. Из приведенного примера хорошо видно, что отбор идет по фенотипу, т. е. по внешнему проявлению признака. Однако в результате отбираются генотипы, обуславливающие развитие этих фе-



А



Б

Рис. 111. Темные и светлые пяденицы на стволах деревьев: А — светлые; Б — темные стволы берез

нотипов, т. е. в природе отбор сохраняет не отдельные признаки или гены, а целые комбинации генов, присущие данному организму.

Примеров, которые доказывают существование движущей формы естественного отбора, существует множество. К ним относится, например, возникновение устойчивости насекомых к ядохимикатам. Отдельные особи, которые выживают после применения инсектицидов, получают преимущество в новых условиях, оставляют потомство и способствуют распространению признака устойчивости к этим препаратам в популяции.

Под действием движущей формы естественного отбора может происходить не только усиление признака, но и ослабление его вплоть до полного исчезновения, например утрата глаз у крота или редукция крыльев у некоторых насекомых, живущих в ветреных районах на морских побережьях.

Таким образом, при изменении условий внешней среды ведущую роль в эволюции играет движущая форма естественного отбора.

Стабилизирующая форма отбора. В постоянных условиях среды действует стабилизирующий отбор, направленный на сохранение ранее сложившегося среднего значения признака или свойства (рис. 112). Если популяция оптимально приспособлена к определенным условиям среды, это не значит, что необходимость в отборе исчезает. В каждой популяции постоянно возникают новые мутации и комбинации генов, следовательно, возникают особи, с признаками, отклоняющимися от среднего значения. Действие этой формы отбора направлено на уничтожение особей, несущих признаки, значительно уклоняющиеся от средней нормы.

Существует много примеров действия стабилизирующей формы естественного отбора. Во время сильных бурь в прибрежных районах Англии погибают в основном воробьи с длинными и короткими крыльями, а птицы, имеющие крылья средних размеров, выживают. В большом помете у млекопитающих обычно гибнут те детеныши, которые наиболее резко отклоняются по каким-то признакам от средних величин.

Эта форма отбора не сдвигает среднюю величину значения признака, однако размах фенотипической изменчивости снижается. В данном случае максимальное преимущество имеют особи со средней выраженностью признака, поэтому наблюдаемое в любой популяции большое сходство всех особей — результат действия стабилизирующей формы естественного отбора. Если условия среды на протяжении длительного времени остаются неизменными, так же неизменны будут и особи дан-

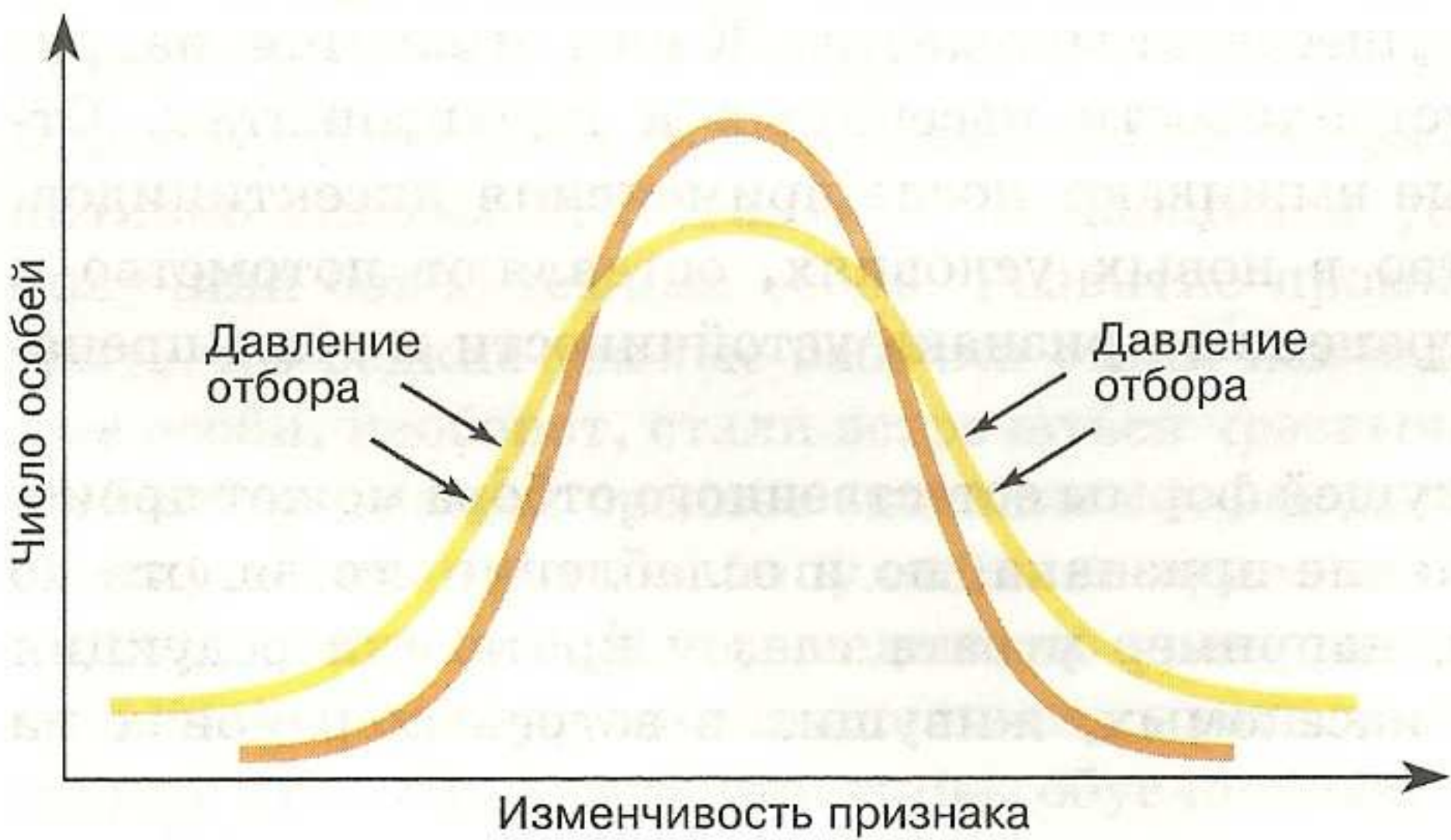
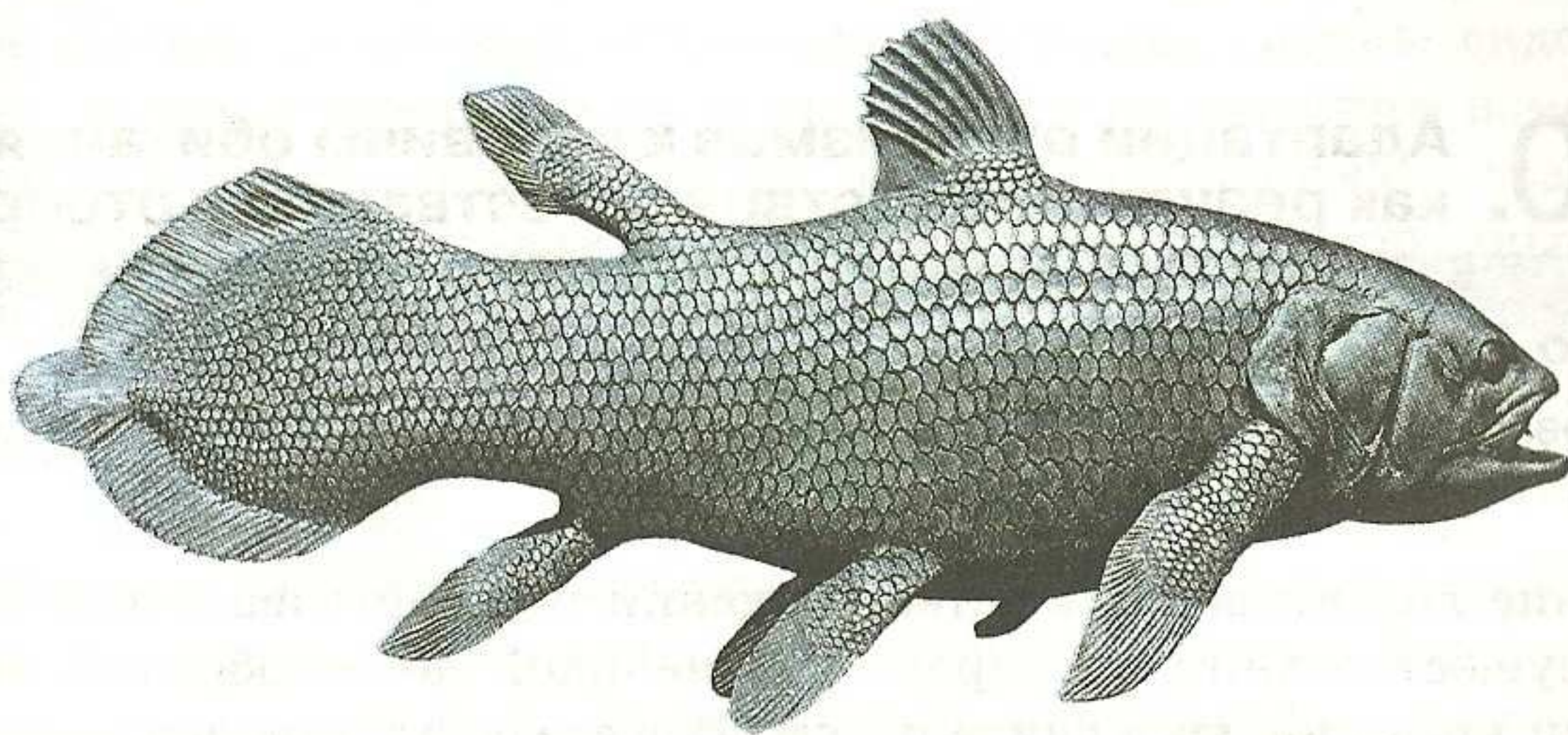


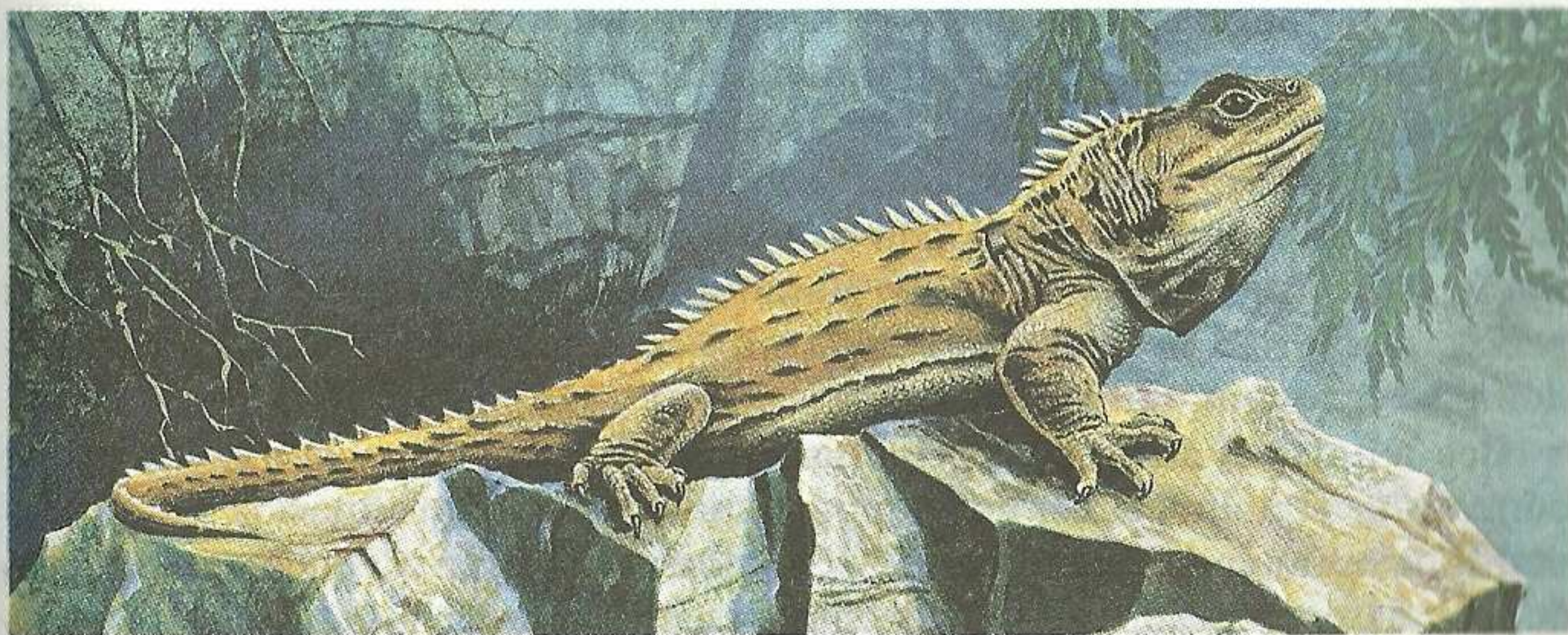
Рис. 112. Стабилизирующая форма естественного отбора

ной популяции. Благодаря действию стабилизирующего отбора до нашего времени практически без изменений сохранились виды, жившие миллионы лет назад: древовидные папоротники, акулы, реликтовый таракан, кистеперая рыба латимерия, пресмыкающееся гаттерия (рис. 113).

По сути, действие стабилизирующего отбора направлено на сохранение тех организмов, которые обладают оптимальным для данных неизменных условий существования гомеостазом. Это подразумевает отсутствие в генотипах таких особей неблагоприятных мутаций или сочетаний аллелей.



А



Б

Рис. 113. Древнейшие животные, сохранившиеся в современной фауне: А — латимерия; Б — гаттерия

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое естественный отбор?
2. На чем основывается действие естественного отбора?
3. Какие вам известны формы естественного отбора?
4. В каких условиях внешней среды действует каждая форма естественного отбора?
5. В чем заключается причина появления у микроорганизмов, вредителей сельского хозяйства и других организмов устойчивости к ядохимикатам?

4.10. Адаптации организмов к условиям обитания как результат действия естественного отбора

Вспомните!

На основании собственных наблюдений приведите примеры приспособленности организмов к условиям существования.

В течение долгих веков в естествознании господствовало представление о существовании в природе изначальной целесообразности. Сторонники креационизма считали, что Бог создавал каждый вид в абсолютном соответствии с конкретными условиями обитания. С развитием эволюционных идей общество признало существование изменчивости, но механизмы ее возникновения еще оставались неясными. Ж. Б. Ламарк считал, что развитие приспособлений — это ответная реакция организмов на действие факторов окружающей среды. И лишь с появлением эволюционной теории Ч. Дарвина адаптации организмов стали рассматривать как результат действия естественного отбора в определенных условиях внешней среды.

Все живые существа оптимально приспособлены к своим условиям обитания. Приспособленность повышает шансы организмов на выживание и оставление потомства, т. е. помогает таким особям выиграть борьбу за существование и передать свои гены следующим поколениям. Эволюционный процесс в любой популяции протекает в два этапа. Сначала возникает генетическое разнообразие, проявляющееся в фенотипических признаках. Затем в ходе естественного отбора сохраняются те признаки и свойства, которые обеспечивают особям конкретной

популяции оптимальные приспособления к условиям обитания. Поскольку условия обитания организмов разнообразны, столь же разнообразны и адаптации к ним. Приспособления затрагивают внешние и внутренние признаки и свойства организмов, особенности размножения и поведения, т. е. существует множество различных форм приспособленности организмов к окружающей среде.

Морфологические адаптации. Эти адаптации связаны с особенностями строения тела. Причем, как и все остальные типы адаптаций, морфологические приспособления с точки зрения эволюционной значимости подразделяются на *общие*, которые затрагивают обычно крупные таксоны (отряды, классы, типы), и *специальные*, связанные с более узкими условиями существования (виды, группы видов). Например, возникновение крыла у птиц — это крупнейшее изменение, которое дало возможность живым организмам завоевать воздушное пространство. Впоследствии на его основе возникали вторичные и третичные адаптации, например особенности строения крыла, связанные с типом полета. Сравните бреющий полет буревестника и маневренный полет колибри, позволяющий птице зависать в воздухе в одной точке и давать задний ход.

У Дарвина любимым примером приспособлений служил дятел. В «Происхождении видов путем естественного отбора» Дарвин писал: «Можно ли привести более разительный пример приспособления, чем дятел, лазающий по стволам деревьев и вылавливающий насекомых в трещинах коры?»

Классическим примером приспособлений служит строение ноги у разных видов птиц. Ярким примером адаптаций к разным типам питания является разнообразная форма птичьих клювов (см. рис. 103).

Плоская форма тела придонных рыб и торпедообразное тело акул, густой шерстный покров у северных млекопитающих, гибкое тело у норных животных — это примеры морфологических адаптаций у животных. Подобные формы адаптаций существуют и в растительном царстве. В высокогорных районах и в тундре большинство растений имеют стелющиеся и подушковидные формы, которые устойчивы к сильным ветрам, зимой легко укрываются снегом и не повреждаются в сильные морозы.

Покровительственная окраска. Такая окраска служит прекрасным способом защиты от врагов для многих видов животных. Благодаря ей животные становятся менее заметны.

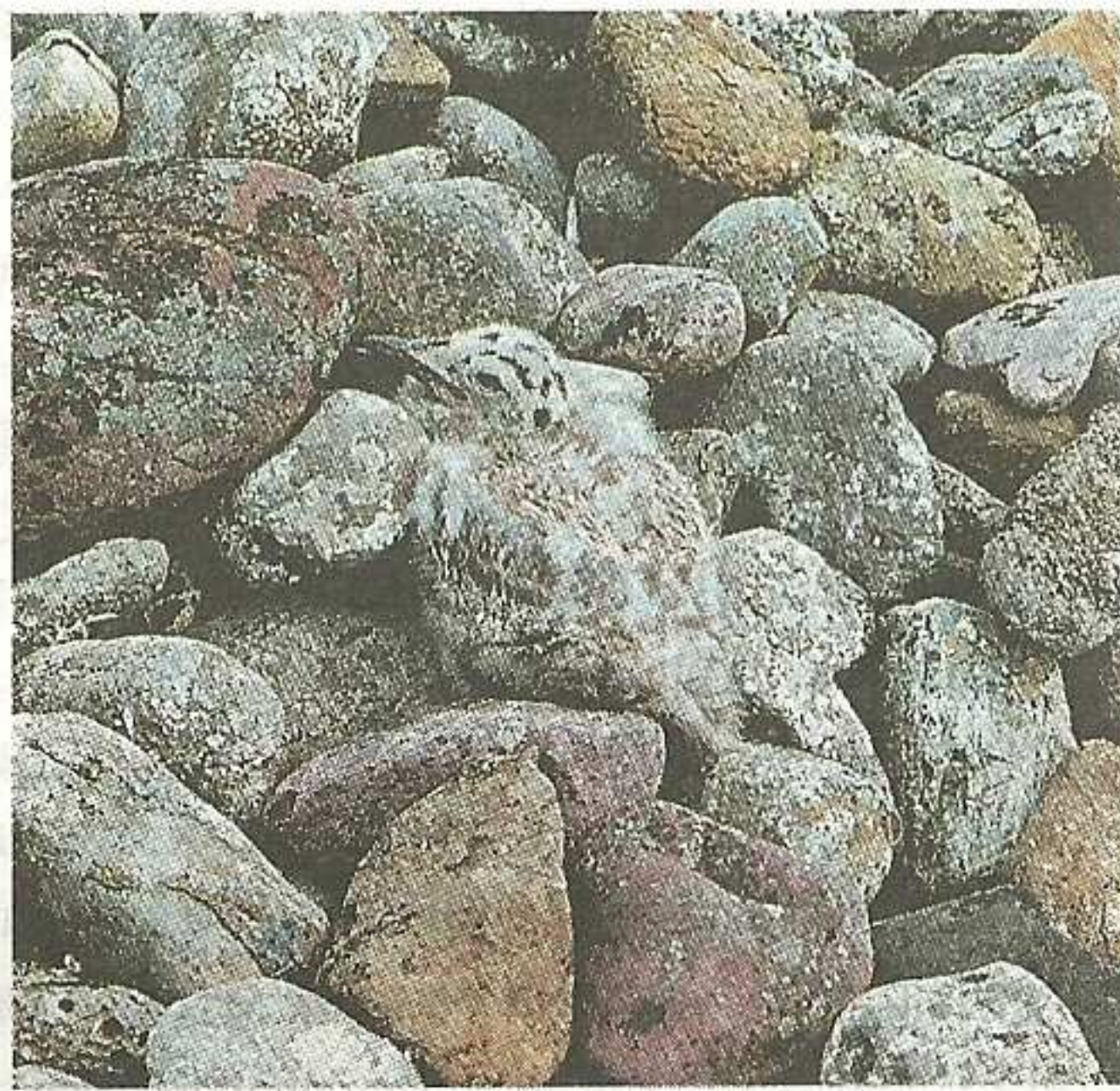
Самки птиц, гнездящиеся на земле, практически сливаются с общим фоном местности. Так же незаметны яйца и птенцы у этих видов птиц, а, например, яйца аистов не имеют покровительственной окраски, потому что, как правило, недоступны для врагов (рис. 114).

Покровительственную окраску имеют многие виды насекомых, например окраска крыльев ночных бабочек полностью сливается с той поверхностью, на которой они проводят дневные часы. Неразличимы в траве зеленые кузнечики, в пустыне — песочно-желтые ящерицы, на снегу — полярные песцы. Следует отметить, что в районах Крайнего Севера среди животных очень распространена белая окраска, делающая их незаметными на снежной поверхности (полярные медведи, совы, белая куропатка и многие другие) (рис. 115).

У некоторых животных существует характерная яркая окраска, образованная чередованием светлых и темных полос или пятен (тигры, леопарды, пятнистые олени, детеныши кабана). Такая окраска имитирует чередования света и тени в окружающей природе и делает животных менее заметными в густых зарослях (рис. 116).



А



Б

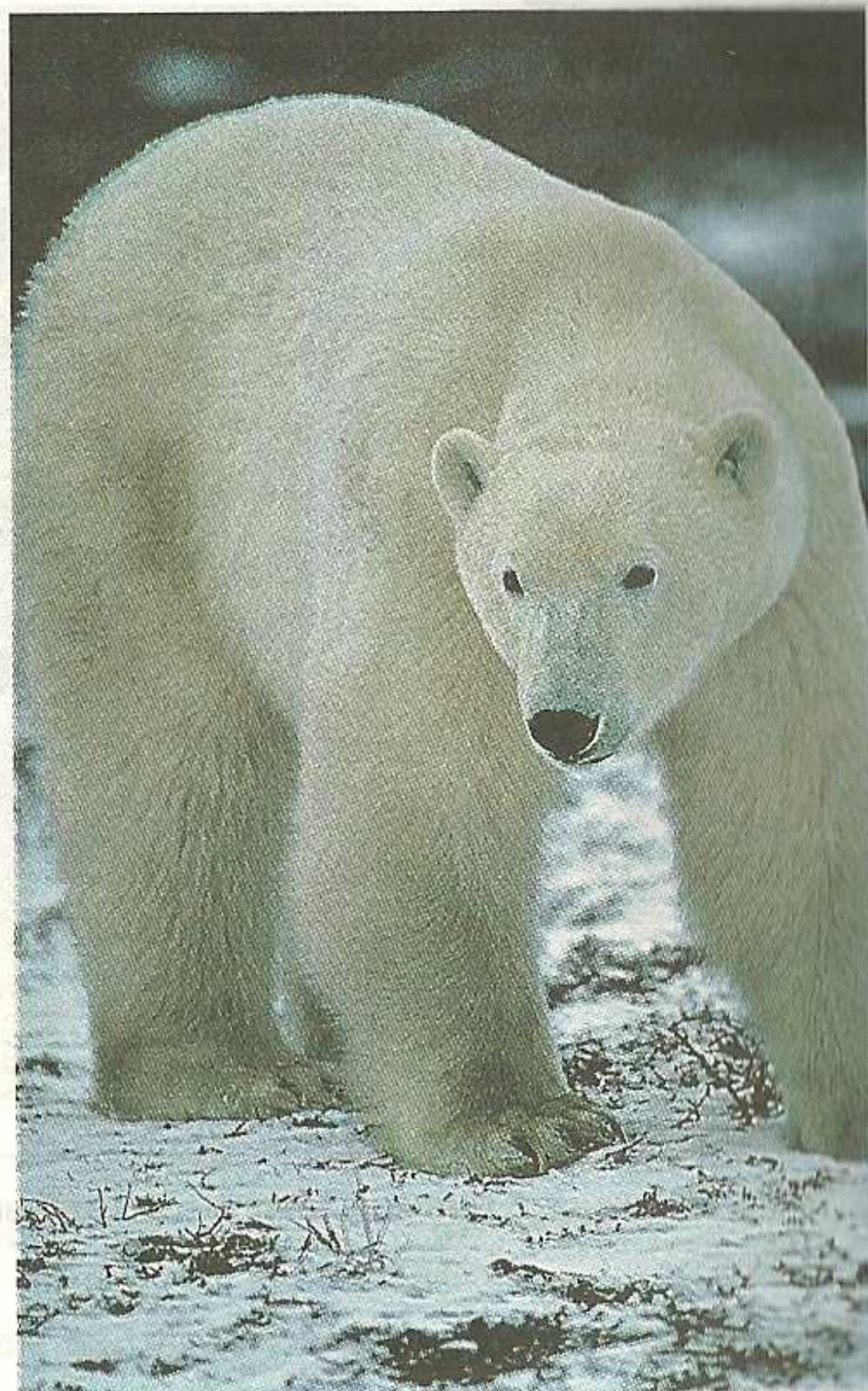
Рис. 114. Покровительственная окраска позволяет птицам сливаться с ландшафтом: А — пятнистая бурая окраска малого вальдшнепа повторяет тона лесной почвы; Б — птенцы серебристой чайки в первые дни своей жизни совершенно беспомощны и могут полагаться только на свой защитный наряд



А



Б



В

Рис. 115. Белая окраска животных Крайнего Севера: А — песец; Б — детеныш тюленя; В — полярный медведь

В зависимости от условий освещенности способны менять свою окраску хамелеоны, осьминоги и другие животные.

Предостерегающая окраска. У ряда животных вместо покровительственной окраски развивается предостерегающая, или угрожающая. Как правило, такая окраска свойственна жалящим или имеющим ядовитые железы насекомым. Птица, отведавшая ядовитую божью коровку или ярко-полосатого шмеля, вряд ли будет пытаться сделать это снова.

Маскировка. Хорошим средством защиты от врагов служит не только скрывающая окраска, но и маскировка — соответствие формы тела объектам неживой природы. Сходство с предметами окружающей сре-

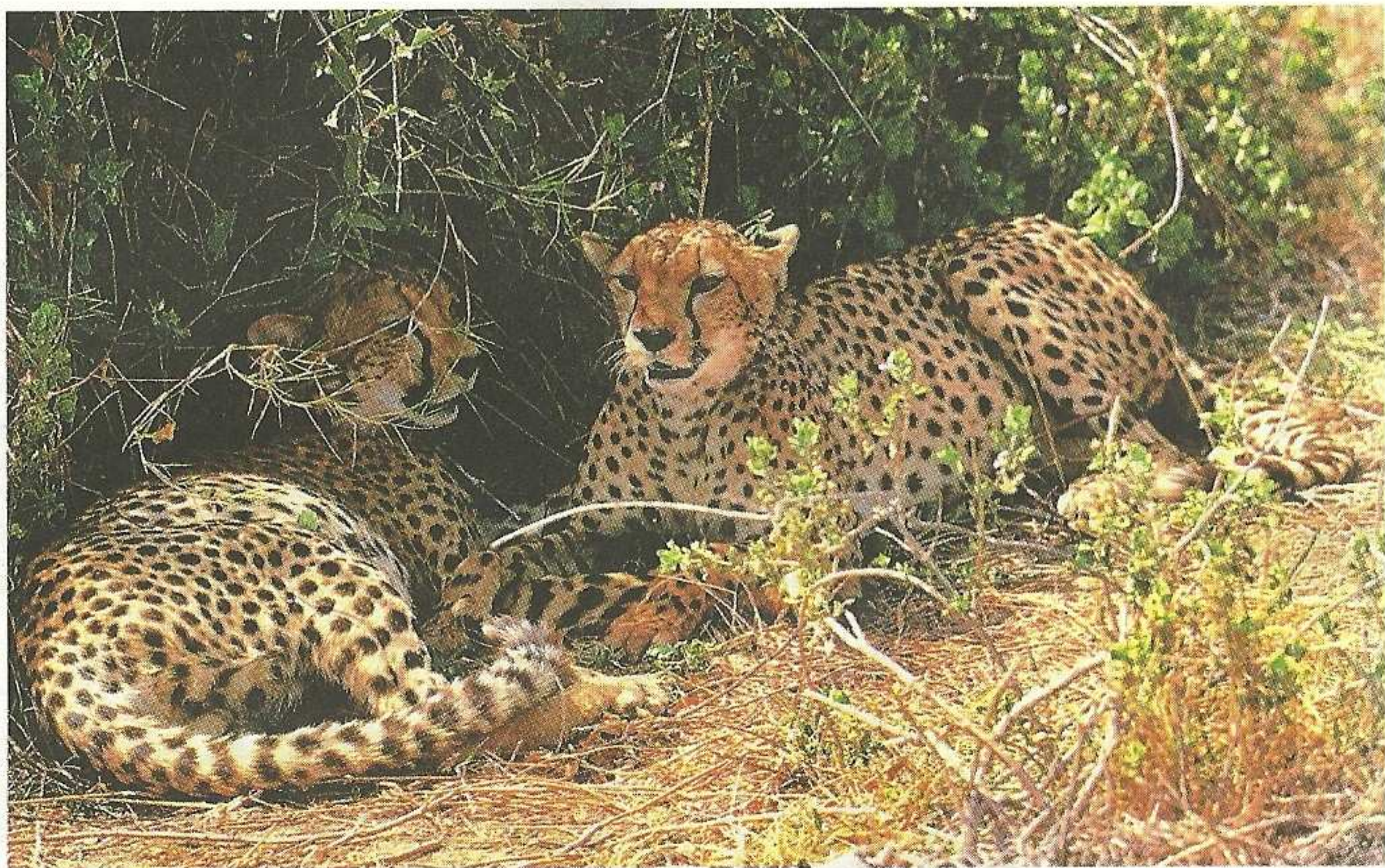


Рис. 116. Гепарды. Пример покровительственной окраски

ды позволяет многим животным избегать нападения хищников. Практически неразличима в зарослях морских водорослей рыба-игла. Форма тела некоторых насекомых напоминает листья, кору, веточки или колючки растений (рис. 117).

Мимикрия. Многие безобидные животные в процессе эволюции приобрели сходство с ядовитыми видами. Это явление подражания беззащитного вида хорошо защищенным и имеющим предостерегающую окраску неродственным видам называют *мимикрией* (от греч. *mimikos* — подражательный). Непривлекательны для насекомоядных птиц пчелы и их подражатели — мухи-журчалки (рис. 118). Многие неядовитые змеи очень похожи на ядовитых, а узор на крыльях некоторых бабочек напоминает глаза хищников.

Биохимические адаптации. Многие животные и растения способны образовывать различные вещества, которые служат им для защиты от врагов и для нападения на другие организмы. Пахучие вещества клопов, яды змей, пауков, скорпионов, токсины растений относятся к такого рода приспособлениям.

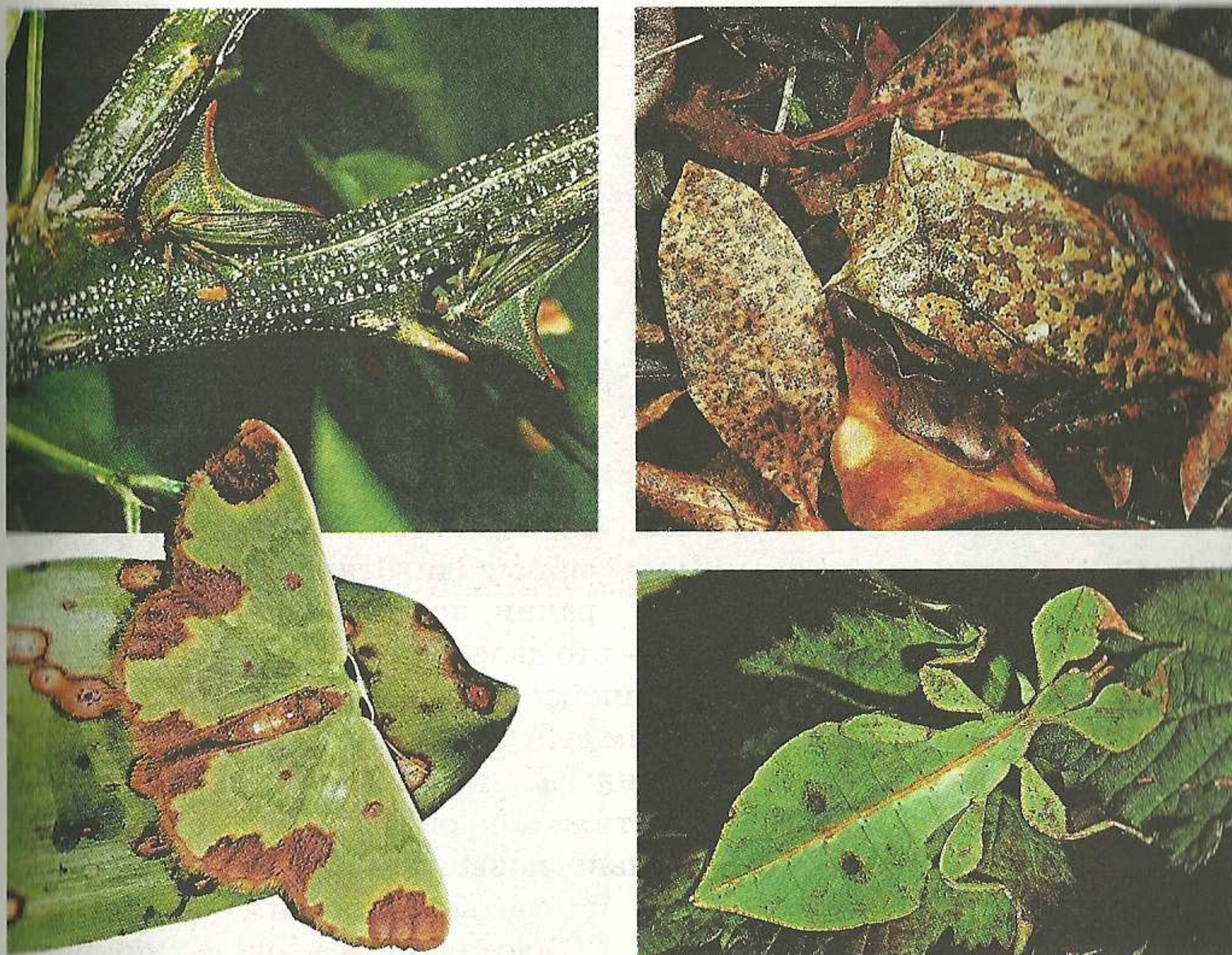


Рис. 117. Маскировка в мире насекомых

Биохимическими адаптациями также является появление особой структуры белков и липидов у организмов, обитающих при очень высоких или низких температурах. Подобные особенности позволяют этим организмам существовать в горячих источниках или, наоборот, в условиях вечной мерзлоты.

Физиологические адаптации. Эти адаптации связаны с перестройкой обмена веществ. Без них невозможно поддержание гомеостаза в постоянно меняющихся условиях внешней среды.

Человек не может долго обходиться без пресной воды из-за особенностей своего солевого обмена, но птицы и рептилии, проводящие большую часть жизни в морских просторах и пьющие морскую воду, приобрели специальные железы, которые позволяют им быстро избавляться от избытка солей.



Рис. 120. Брачный турнир самцов антилопы

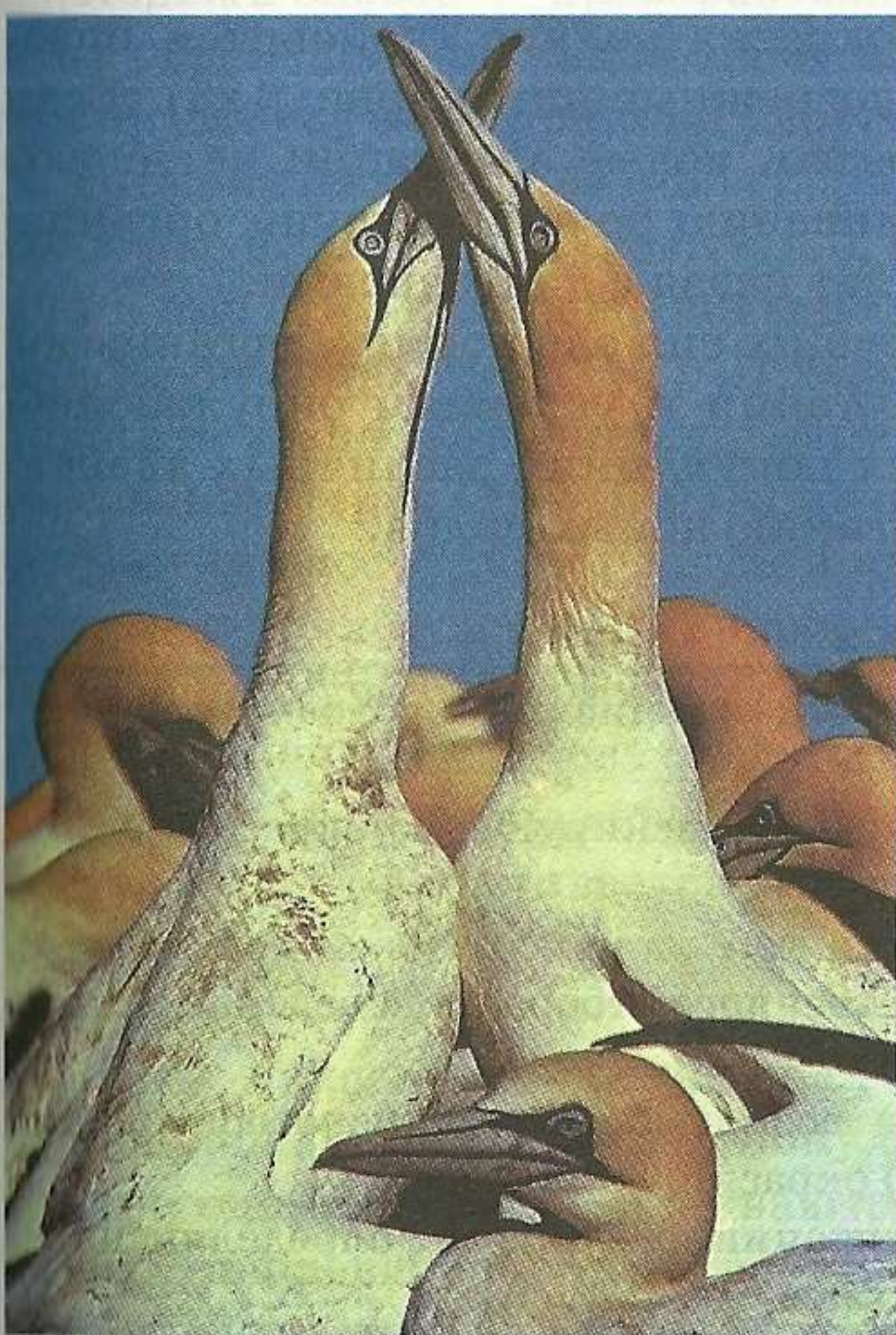


Рис. 121. Брачное поведение капских олушей

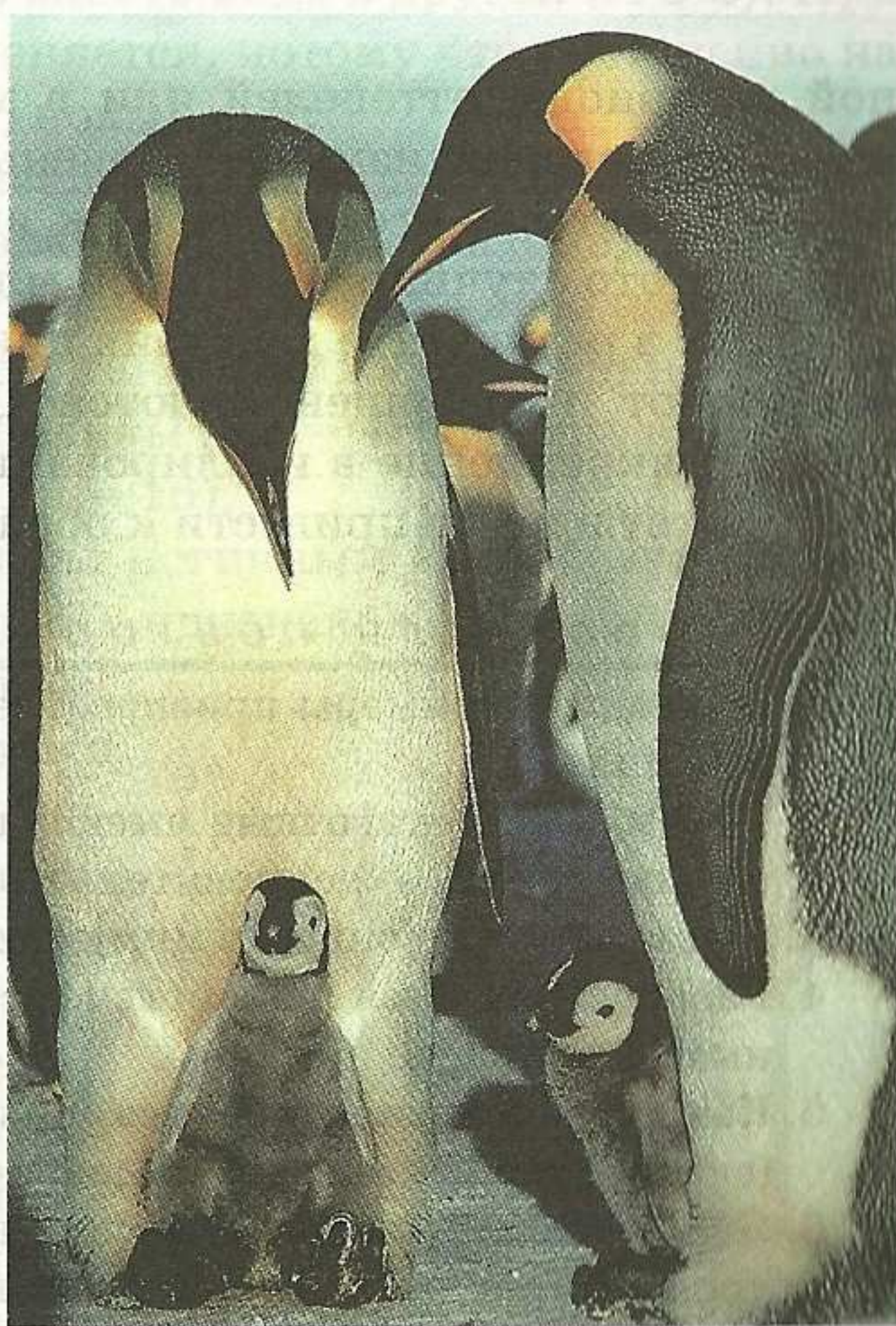


Рис. 122. Забота о потомстве у пингвинов

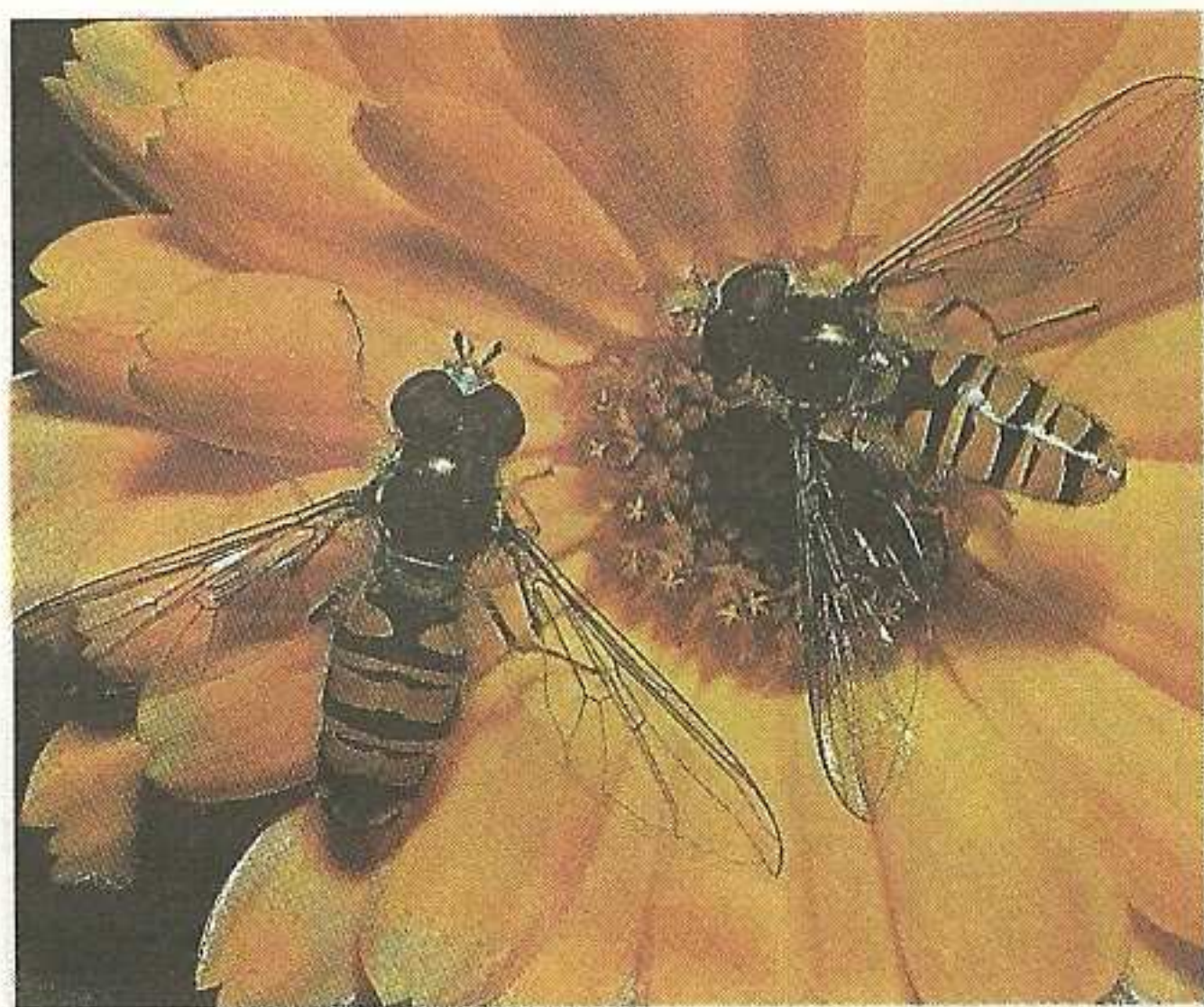


Рис. 118. Мухи-журчалки на цветах

лодный или засушливый период, — это далеко не полный перечень разнообразных типов поведения, возникающих в ходе эволюции как приспособления к конкретным условиям существования (рис. 119).

Следует отметить, что многие виды адаптаций формируются параллельно. Например, защитное действие покровительственной или предупреждающей окраски значительно повышается при сочетании ее



Рис. 119. Бурундук в состоянии зимней спячки

Многие пустынные животные перед наступлением засушливого сезона накапливают много жира: при его окислении образуется большое количество воды.

Поведенческие адаптации. Особый тип поведения в тех или иных условиях имеет очень большое значение для выживания в борьбе за существование. Затаивание или отпугивающее поведение при приближении врага, запасание корма на неблагоприятный период года, спячка животных и сезонные миграции, позволяющие пережить хо-

с соответствующим поведением. Животные, имеющие покровительственную окраску, в минуту опасности замирают. Предостерегающая окраска, наоборот, сочетается с демонстративным поведением, отпугивающим хищника.

Особую важность имеют поведенческие адаптации, связанные с продолжением рода. Брачное поведение, выбор партнера, образование семьи, забота о потомстве — эти типы поведения являются врожденными и видоспецифичными, т. е. у каждого вида существует своя программа полового и детско-родительского поведения (рис. 120, 121, 122).



Рис. 123. Зимняя окраска зайца

Относительный характер адаптаций. Все живые организмы оптимально приспособлены к условиям своего обитания, будь это пустыня или экваториальные леса, морские глубины или саванны. Каждый организм имеет множество адаптаций, которые образовались в результате действия естественного отбора во вполне определенных условиях среды. При изменении этих условий адаптации могут потерять свою приспособительную ценность и даже принести вред их обладателю, т. е. адаптации имеют *относительную целесообразность*. Белая зимняя окраска зайцев становится опас-

ной в периоды оттепелей или в малоснежные зимы (рис. 123). Если внешние условия изменятся очень резко, новые адаптации не успеют сформироваться, что приведет к вымиранию больших групп организмов, как это случилось более 60 млн лет назад с динозаврами.

Итак, в результате действия движущих сил эволюции у организмов возникают и совершенствуются адаптации к условиям окружающей среды. Закрепление в изолированных популяциях различных адаптаций может в итоге привести к образованию новых видов.

Вопросы для повторения и задания

1. Приведите примеры приспособленности организмов к условиям существования.
2. Почему одни животные имеют яркую, демаскирующую окраску, а другие, наоборот, — покровительственную?
3. В чем состоит сущность мимикрии?
4. Распространяется ли действие естественного отбора на поведение животных? Приведите примеры.
5. Каковы биологические механизмы возникновения приспособительной (скрывающей и предупреждающей) окраски у животных?
6. Являются ли физиологические адаптации факторами, определяющими уровень приспособленности организма в целом?
7. В чем сущность относительности любого приспособления к условиям обитания? Приведите примеры.

4.11. Видообразование как результат эволюции

Вспомните!

Что такое вид?

Какие виды древних растений и животных вам известны?

Какую роль играет изоляция в процессе эволюции?

Видообразование — это процесс возникновения новых видов. В настоящее время на земном шаре обитает несколько миллионов разнообразных видов, а за все время существования Земли, как считают ученые, их было в 50—100 раз больше. Как же возникало все это гигантское многообразие?

Способы видообразования. Большой вклад в решение проблем видообразования внес известный американский зоолог и эволюционист Эрнст Майр. Он выделил три основных способа видообразования (рис. 124).

Первый способ — преобразование одного вида в другой (А в В). При этом общее количество видов не изменяется, потому что постепенно на смену одному виду приходит другой, новый вид.

Второй способ основан на гибридизации двух видов, в результате чего образуется третий, новый вид (межвидовое образование). Как правило, при этом исходные виды не исчезают, поэтому общее количество видов увеличивается (+1). Примером такого видообразования может служить возникновение культурной сливы ($2n = 48$) в результате гибридизации терна ($2n = 32$) и алычи ($2n = 16$).

Третий способ, который Майр назвал истинным видообразованием, связан с расхождением (дивергенцией) признаков. Этот способ был подробно изучен и описан Ч. Дарвином. Если исходный и вновь образующийся виды остаются жизнеспособными, количество видов увеличивается. Именно таким способом образовалось большинство видов.

Пути видообразования. Если особи, принадлежащие к разным популяциям внутри одного вида, скрещиваются и образуют плодовитое потомство, вид является единым целым. Поток генов между внутривидовыми популяциями форми-

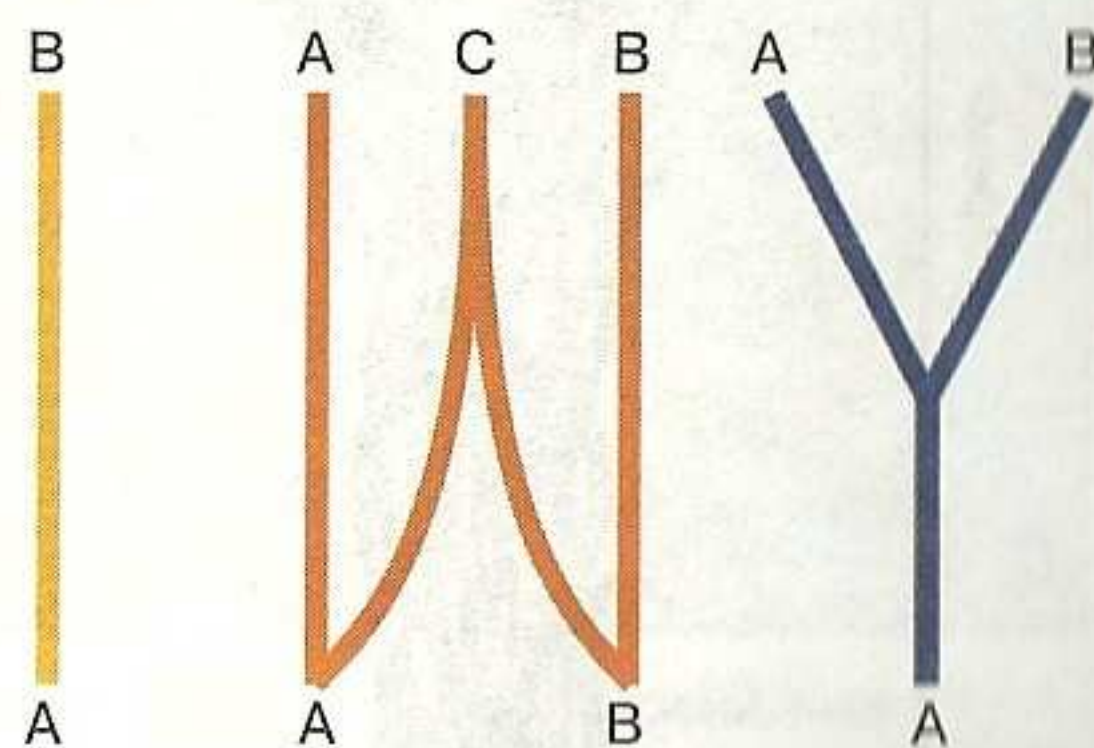


Рис. 124. Три основных способа видообразования

рует единый видовой генофонд. Для образования нового вида необходимо, чтобы между популяциями возникла изоляция. В результате обмен генами между изолированными популяциями прекращается, накапливаются межпопуляционные различия, что в дальнейшем может привести к превращению таких популяций в самостоятельные генетические системы, сначала виды, а затем и более крупные таксоны (рис. 125).

В зависимости от изолирующего механизма, можно выделить два основных пути видообразования: географическое и экологическое.

Географическое видообразование. При пространственной изоляции популяций происходит географическое видообразование. Если некая популяция мигрировала за пределы ареала исходного вида, утратила связь с остальными видовыми популяциями и попала в иные условия, накопление адаптаций к этим новым условиям обитания может привести к формированию нового вида.

Также географическое видообразование может происходить при разделении исходного целостного ареала родительского вида на несколько изолированных самостоятельных ареалов. Такая изоляция возникает в результате глобальных геологических процессов: дрейфа

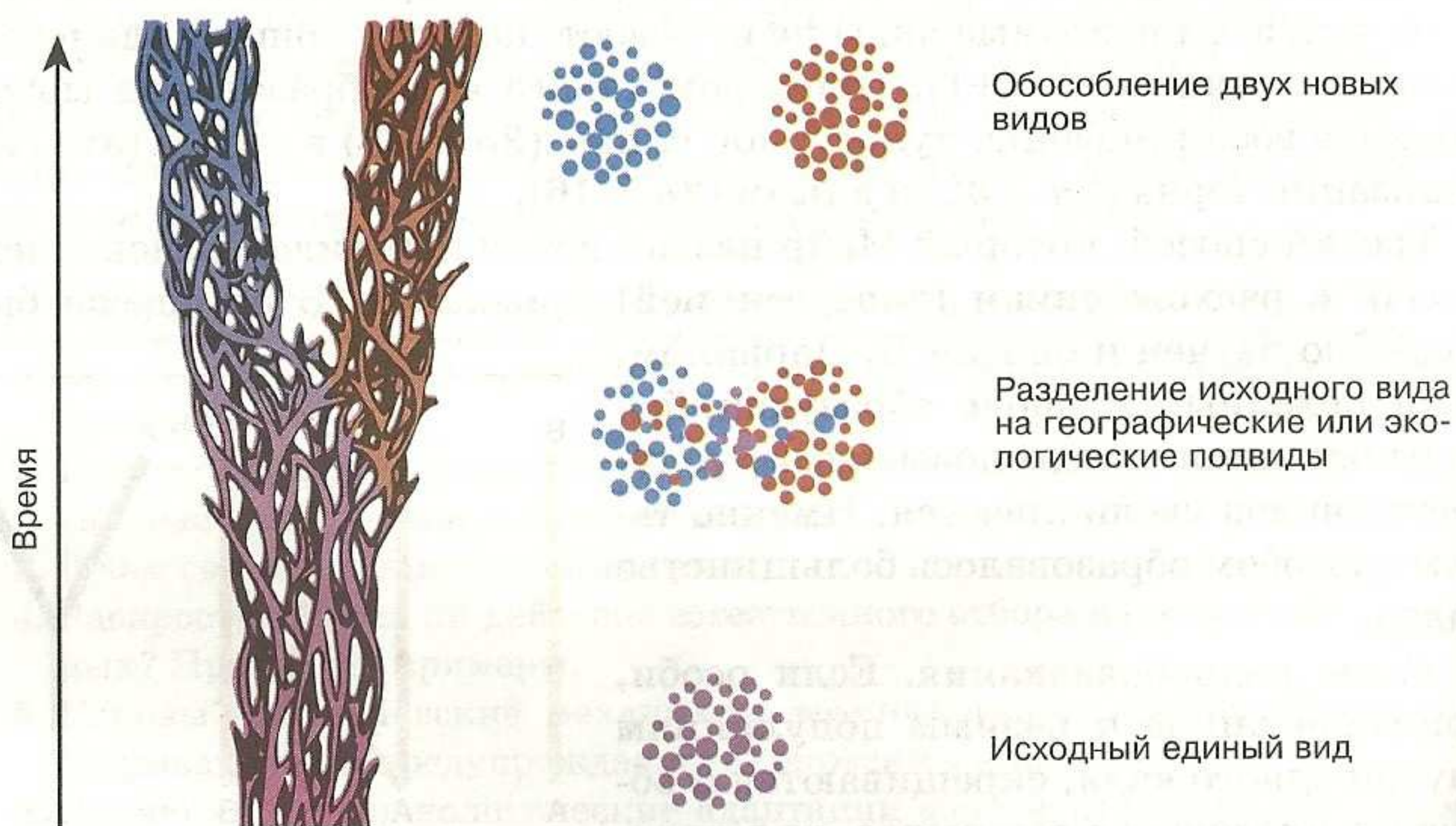


Рис. 125. Возникновение изоляции между популяциями может привести к образованию новых видов

континентов, горообразования, образования водных преград и т. д. Классическим примером такого видообразования являются выюрки, которых Дарвин изучал на различных Галапагосских островах.

Примером видообразования путем фрагментации (от лат. *fragmentum* — обломок, кусок) ареала материнского вида служит возникновение разных видов ландыша (рис. 126). Несколько миллионов лет назад исходный предковый вид ландыша был широко распространен в лесах Евразии, однако в связи с оледенением его ареал распался на несколько независимых территорий. Ландыш сохранился лишь на территориях, которые ледник не затронул: на юге Дальнего Востока, в Закавказье и на юге Европы. В дальнейшем эти три изолированные популяции развивались самостоятельно, что привело к образованию нескольких новых видов, отличающихся размером и окраской листьев и венчиков.

Видообразование протекает очень медленно, в течение сотен тысяч и миллионов лет в результате смены сотен тысяч поколений. Если мы проследим процесс последовательного отделения фрагментов суши от единого древнего континента, то сможем выявить четкую корреляцию.

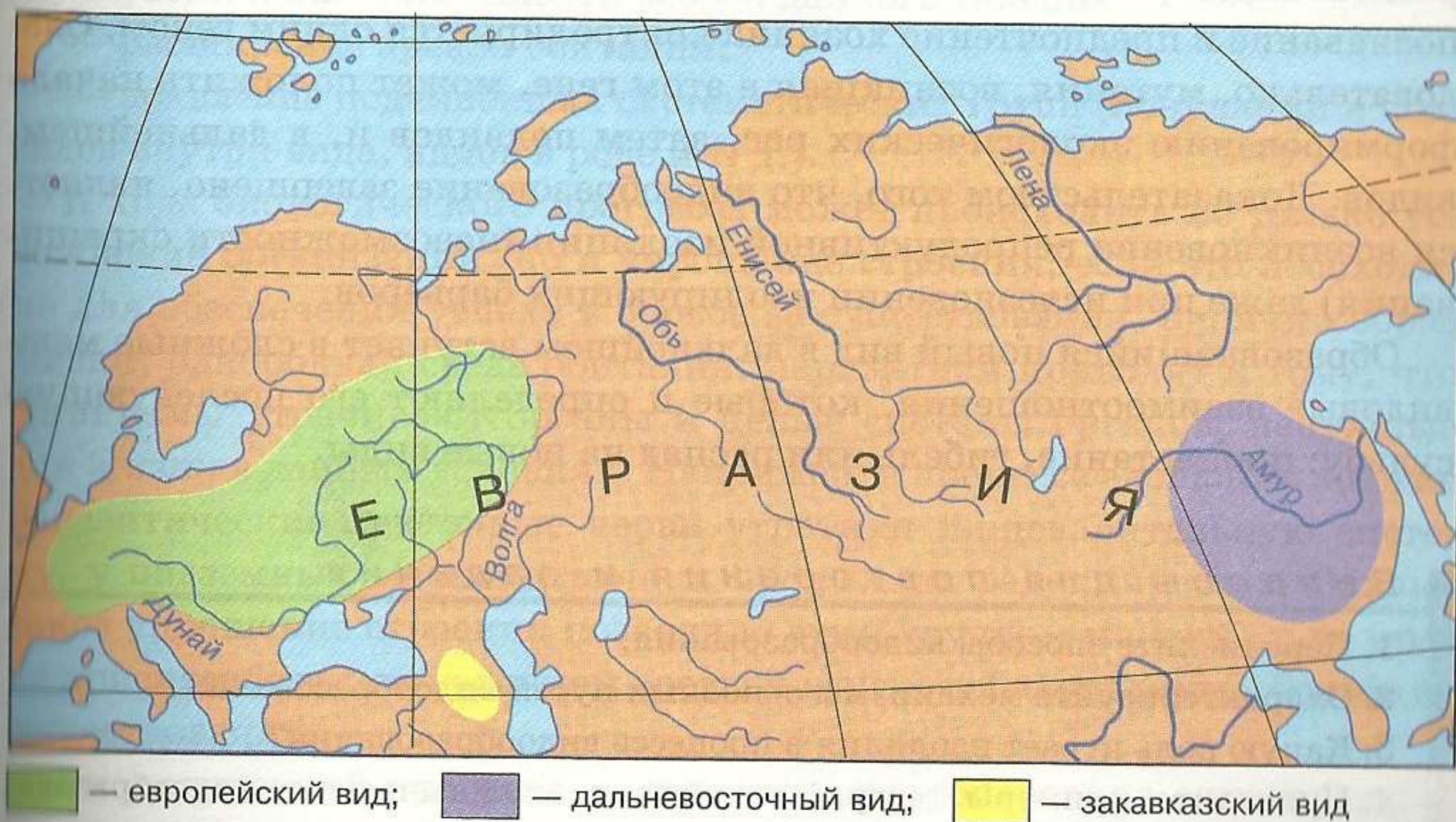


Рис. 126. Видообразование путем фрагментации ареала материнского вида. Образование разных видов ландыша

Острова и континенты, имеющие более длительную историю самостоятельного существования, гораздо сильнее отличаются по флоре и фауне.

Экологическое видообразование. В пределах ареала исходного вида осуществляется экологическое видообразование. Оно может происходить несколькими способами. Один из них — быстрое возникновение новых видов путем кратного увеличения числа хромосом (*полиплоидизация*). Например, у исходного вида табака 12 хромосом, но известны формы с 24, 48, 72 хромосомами.

Другой способ основан на *экологической изоляции* видов. В этом случае изолирующими барьерами служат различия в условиях обитания, в результате чего образуются экологические подвиды, предпочитающие те или иные экологические ниши. В дальнейшем такие подвиды могут дать начало новым самостоятельным видам (§ 4.5, разные виды дубов, растущие на разных почвах).

Подобный способ видообразования встречается и у животных. Например, у яблонной пестрокрылки существуют две экологические группы, которые предпочитают кормиться и размножаться на двух разных видах растений — боярышнике и яблоне. Как выяснилось, распознавание и предпочтение хозяина контролируется одним геном. Следовательно, мутация, возникшая в этом гене, может положить начало формированию экологических рас, затем подвидов и, в дальнейшем, видов. Доказательством того, что видообразование завершено, является возникновение репродуктивной изоляции (невозможности скрещивания) даже при исчезновении изолирующих барьеров.

Образовавшийся новый вид в дальнейшем вступает в сложные межвидовые взаимоотношения, которые и определяют его последующую судьбу: процветание, гибель или распад на новые виды.

Вопросы для повторения и задания

1. Перечислите способы видообразования.
2. Охарактеризуйте механизмы основных путей видообразования.
3. Какую роль играет изоляция в процессе видообразования?
4. Приведите примеры географического и экологического видообразования.
5. Каково значение пространственной изоляции для образования новых видов?

Однако при резких изменениях условий среды возникшие ранее адаптации не всегда оказываются полезными. Узкая специализация часто приводит к тому, что такая группа организмов не может приспособиться к новым условиям, и ее дальнейшая эволюция ведет к регрессу.

Биологический регресс — это эволюционный упадок группы организмов, которая не смогла приспособиться к изменениям условий внешней среды или не выдержала конкуренции с другими группами.

Биологический регресс характеризуют следующие признаки:

- уменьшение численности особей данного таксона;
- сужение ареала обитания;
- уменьшение числа подчиненных систематических групп (популяций и подвидов внутри вида, видов в роде и т. д.).

В итоге биологический регресс может привести к вымиранию групп организмов.

Причины вымирания видов. За всю историю эволюции живой природы на нашей планете обитало в общей сложности в 50—100 раз больше видов, чем представлено сейчас. Менялись условия жизни, и те группы организмов, которые еще недавно были процветающими, оптимально приспособленными, постепенно регрессировали, их численность сокращалась, и они вымирали.

В середине палеозойской эры вымерли псилофиты, давшие начало папоротникообразным растениям. Спустя более 100 млн лет та же участь постигла древовидные папоротники, хвощи и плауны, а позднее,



Рис. 127. Гинкго двулопастный — единственный сохранившийся вид семейства гинкговых

и семенные папоротники. Исчезло большинство древних земноводных и пресмыкающихся. В настоящее время регрессирует семейство гинкговых, представленное единственным видом (рис. 127). Всего два вида входит в современный род выхухолей.

Одним из хорошо известных примеров вымирания видов служит исчезновение гигантского оленя, жившего в ледниковую эпоху на громадной территории — по всей Европе от Ирландии до Сиби-

4.12. Сохранение многообразия видов как основа устойчивого развития биосферы

Вспомните!

Приведите примеры вымирания видов растений и животных. Какие два основных направления эволюции вам известны?

Биологический прогресс и биологический регресс. С момента возникновения жизни более 3 млрд лет назад развитие живой природы шло в направлении максимального приспособления к окружающей среде. Возникали эукариоты, появлялся фотосинтез, формировались первые многоклеточные организмы. Развитие от простого к сложному, от низкоорганизованных форм к высокоорганизованным имеет прогрессивный характер. *Направление эволюции, в ходе которого таксон оптимально адаптируется к условиям окружающей среды, а его численность и ареал растут, называют биологическим прогрессом.* Показателями биологического прогресса являются следующие признаки:

- увеличение численности особей данного таксона;
- расширение ареала обитания;
- появление подчиненных систематических групп (популяций и подвидов внутри вида, видов в роде и т. д.).

В ходе биологического прогресса может происходить не только усложнение организации, но и упрощение строения, если это необходимо для обеспечения успеха в борьбе за существование. Сидячий образ жизни, однородная среда обитания, паразитизм приводят к тому, что организмы утрачивают органы и целые системы органов, ненужные для жизни в данных условиях. Например, в процессе эволюции многие паразитические ленточные черви утратили пищеварительную систему, у подземных млекопитающих произошла редукция глаз. Однако такое упрощение строения позволило этим группам максимально полно приспособиться к условиям среды и выйти победителями в борьбе за существование.

Биологический прогресс — это успех и процветание определенной группы организмов. В настоящее время биологический прогресс испытывают круглые черви, членистоногие, птицы, млекопитающие и покрытосеменные растения.

ри и Китая, а на юге — до Северной Африки. Самцы этого оленя обладали огромными рогами массой до 25 кг и размахом примерно до 3 м (рис. 128). Ни у каких других представителей этого семейства не было столь крупных рогов. Гигантский олень обитал на открытых, поросших травой пространствах с редкими скоплениями деревьев. После завершения последнего оледенения около 11 тыс. лет назад открытые пространства стали постепенно сменяться лесами. Гигантский олень не смог выжить в густом лесу. Изменения климата и растительности оказались неблагоприятными для этого вида и стали причиной его вымирания.



Рис. 128. Гигантский олень (вымерший вид)

Некоторые виды, в ходе эволюции уходя от конкуренции с другими группами, становились высокоспециализированными формами, благополучие которых полностью зависело от существования определенного экологического фактора. Например, растения, произрастающие на сильно засоленных почвах, организмы, живущие при очень высоких или, наоборот, низких температурах, в условиях острого дефицита воды и т. п. Такие виды представляют собой тупиковые ветви биологической эволюции, которые вымирают при изменении этих экстремальных условий.

Часто, особенно в последние 10 тыс. лет, причиной биологического регресса, ведущего к вымиранию, становилась деятельность человека (§ 5.10), который определял судьбу многих видов, непосредственно истребляя их или изменяя условия их среды обитания. В начале XVII в. был уничтожен дикий бык — тур, к середине XVIII в. исчезли морские стеллеровы коровы.

Сохранение многообразия видов. Для устойчивого развития биосферы необходимо сохранение многообразия видов. Чем богаче будет флора и фауна Земли, тем меньше угроза нарушения общего равнове-

ного состояния биосферы при изменении условий. Существование широкого внутривидового многообразия позволяет определенному виду легко адаптироваться к меняющимся условиям среды. Точно так же наличие самых различных видов позволяет всей живой природе гибко приспосабливаться к внешним условиям, сохраняя свою целостность. Сохранение генетического разнообразия — материала для эволюции — способствует прогрессивному развитию биосферы.

При изменении климатических и других условий на древней Земле всегда находились виды, которые получали преимущества в новых условиях и эволюционировали, адаптируясь и постепенно занимая господствующее положение. В настоящее время многие виды страдают от так называемой *генетической эрозии*, т. е. сокращается и обедняется их общий генофонд. Это не дает им возможности быстро реагировать на изменение условий, поэтому редкие малочисленные виды могут исчезать.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое биологический прогресс?
2. Что является показателями биологического прогресса? Регресса?
3. Как можно объяснить существование на Земле живых организмов разной степени сложности?
4. Какое направление биологической эволюции поднимает группу организмов на более высокую ступень организации?
5. Каковы причины вымирания видов?
6. Объясните, что такое генетическая эрозия.

4.13. Доказательства эволюции органического мира

Вспомните!

Что такое эволюция?

Какие вы знаете доказательства существования эволюции?

Эволюция — это очень длительный исторический процесс, который невозможно непосредственно наблюдать на протяжении ограниченного времени. Жизнь человека и существование человечества в целом не-соизмеримы по временному масштабу с эволюционными преобразова-

ниями на нашей планете. Процессы формирования крупных таксонов могут продолжаться миллионы лет. Реальное существование эволюционных процессов подтверждают факты, полученные разными естественными науками: палеонтологией, морфологией, систематикой, эмбриологией и многими другими. Рассмотрим основные существующие на сегодняшний день доказательства эволюции живой природы.

Цитология и молекулярная биология. Все живые организмы — растения, грибы, животные, бактерии — состоят из клеток, имеющих общий план строения и сходный химический состав. Универсальность генетического кода, единые принципы хранения, реализации и передачи генетической информации — это подтверждение того, что все живое имеет единое происхождение.

Сравнительная морфология. Сходство во внешнем и внутреннем строении организмов, принадлежащих к одной систематической группе, свидетельствует об их родстве и общем происхождении.

Конечность у всех наземных позвоночных, от земноводных до млекопитающих, построена по единому плану — пятипалая конечность рычажного типа. У каждого вида скелет конечности модифицирован в зависимости от способа передвижения и приспособлен к конкретным условиям обитания, но принципиальная схема строения остается неизменной (см. рис. 100). Такие органы, развивающиеся из одних и тех же зачатков в процессе эмбрионального развития и выполняющие разные или сходные функции, называют *гомологичными органами*. Существование гомологии органов внутри крупной группы организмов свидетельствует об их происхождении от общего предка.

В систематических группах, далеко отстоящих друг от друга, мы тоже можем обнаружить структуры, выполняющие одинаковые функции и имеющие внешнее сходство, например крылья насекомых и птиц (рис. 129). Однако в отличие от гомологичных органов эти

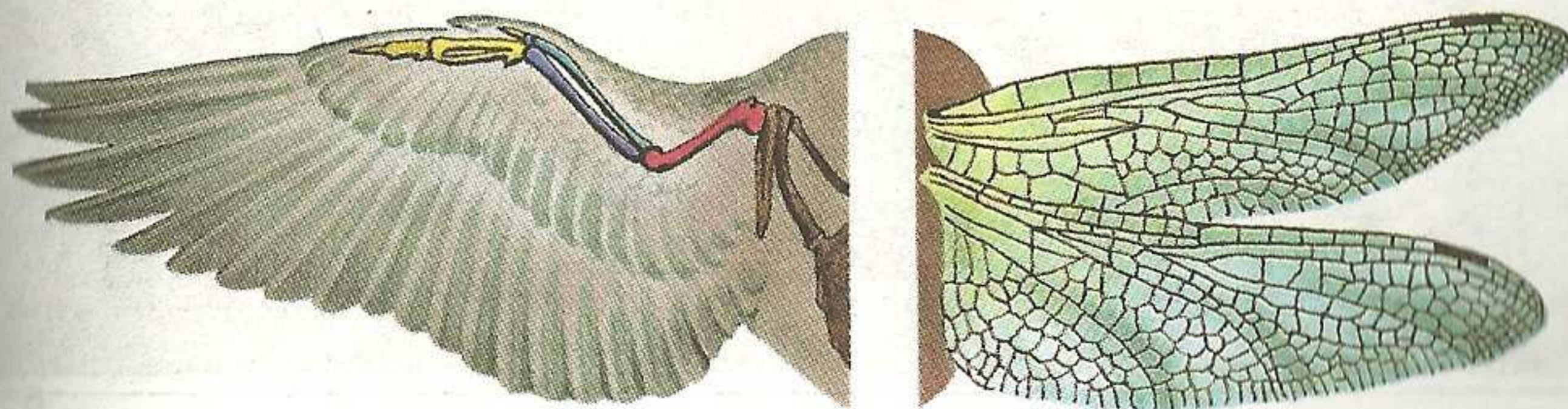


Рис. 129. Крылья птицы и стрекозы

структуры имеют разное происхождение и строение, их называют *аналогичными органами*. Наличие у разных видов похожих, но не гомологичных органов подтверждает отсутствие у этих видов близкого родства.

Важным анатомическим доказательством эволюции служат рудименты и атавизмы. *Атавизмы* — это появляющиеся у отдельных особей данного вида признаки, которые существовали у отдаленных предков, но были утрачены в процессе эволюции. Например, появление трехпалой конечности у современных лошадей, развитие дополнительных пар молочных желез, хвоста или сплошного волосяного покрова у человека. Возникновение атавизмов объясняется тем, что гены, отвечающие за развитие этих признаков, в процессе эволюции сохранились, но при нормальном развитии их действие блокируется.

Рудименты — это органы, утратившие в процессе эволюции свое значение. Они закладываются во время эмбриогенеза, но полностью не развиваются. Когда-то у далеких предковых форм эти органы имели важное значение, но в дальнейшем в связи с изменениями условий существования перестали быть необходимыми. Примерами рудиментов могут служить неразвитые кости задних конечностей и остатки тазового пояса у китообразных, хвостовые позвонки и ушные мышцы у человека (рис. 130). В отличие от атавизмов, рудименты присутствуют у всех представителей вида.

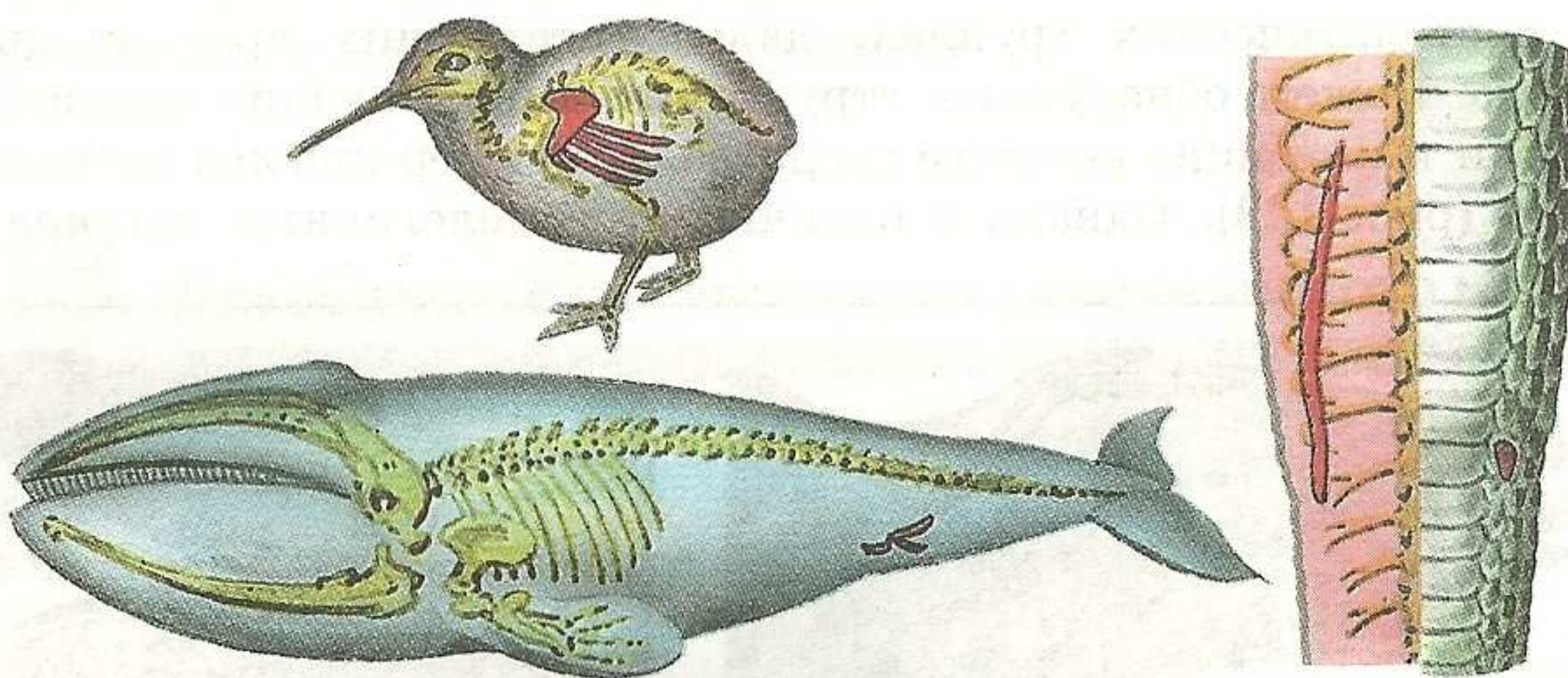


Рис. 130. Рудименты: крыло нелетающей птицы киви; остатки тазового пояса у кита и конечностей у змеи

Иногда в процессе эволюции в определенных условиях среды получает преимущество и сохраняется некая *переходная форма*, соединяющая в себе признаки разных классов. Например, утконос и ехидна относятся к млекопитающим, но откладывают яйца и имеют клоаку



А



Б

Рис. 131. Археоптерикс: А — внешний вид (реконструкция); Б — отпечаток

как пресмыкающиеся, а у кистеперой рыбы латимерии кроме жабр есть примитивные легкие, а ее парные плавники обладают мускулатурой и напоминают по строению конечность наземных позвоночных.

Палеонтология. Изучение ископаемых остатков живых организмов, их следов и отпечатков, обнаруженных в разных геологических слоях, позволяет проследить историческое развитие живой природы. В наиболее древних породах разнообразие организмов невелико, и все они имеют относительно простое строение. В более молодых отложениях остатки имеют все более сложное строение, и их видовое разнообразие гораздо шире. Ученые обнаружили много переходных форм между ныне живущими и ископаемыми организмами, например зверозубые ящеры, напоминающие по строению зубов и скелета млекопитающих, археоптерикс, сочетающий признаки птиц (общий вид, строение конечностей, перья на теле) и пресмыкающихся (наличие зубов, брюшных ребер) (рис. 131).

В некоторых случаях по ископаемым остаткам ученым удалось установить, как проходил *филогенез* (историческое развитие) определенной группы организмов. Владимиру Онуфриевичу Ковалевскому удалось проследить эволюцию лошади с начала кайнозойской эры (рис. 132). Предки лошадей произошли от невысоких всеядных животных с пятипалыми конечностями. Первый представитель семейства лошадей эогиппус, или гиракотерий, был размером с лисицу и имел четырехпалые передние и трехпалые задние конечности. В дальнейшем, когда тропические леса уступили место степям, основным средством защиты стал быстрый бег. Естественный отбор у древних лошадей шел в направлении удлинения конечностей, уменьшения площади опоры, усиления мускулатуры и позвоночника. Найденные ископаемые формы,

позволившие реконструировать последовательный эволюционный ряд лошади, подтверждают эволюционную теорию. ■

Эмбриология. В пользу эволюционного развития органического мира свидетельствует то, что все многоклеточные организмы, способные к половому размножению, развиваются из одной оплодотворенной яйцеклетки (зиготы).

■ Интересно, что лошади, жившие в Северной Америке в течение миллионов лет, вымерли несколько тысяч лет назад, как раз в тот период, когда на этом континенте появился человек. Существуют данные о том, что древние люди использовали лошадей в пищу. Повторно лошади были завезены в Северную Америку не более 500 лет назад.

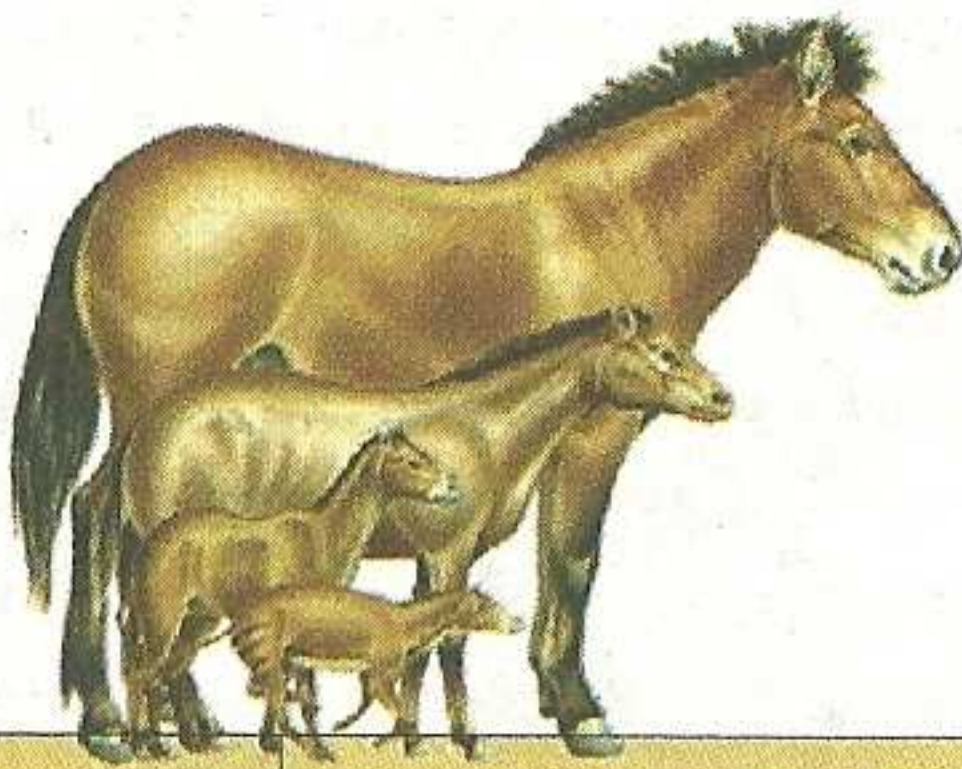
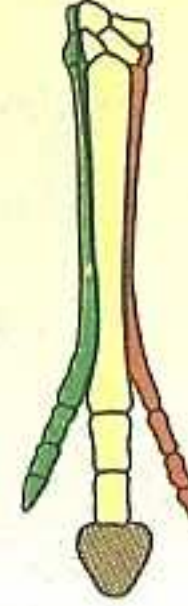
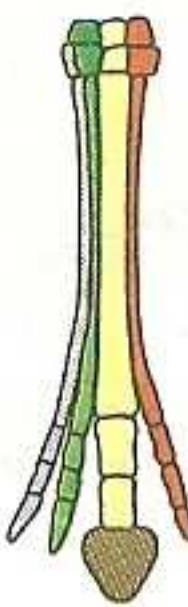


Рис. 132. Эволюция лошади

Эпоха и возраст	Род, внешний вид и высота (в холке)	Кости правой передней ноги	Образ жизни и изменения в строении тела
Современная эпоха и плейстоцен 1×10^6 лет	Лошади  До 1,6 м		Адаптированы к жизни в сухих степях. Очень быстро бегают. Пястье и плюсневые кости удлинены. Расширенная 3-я фаланга покрыта роговым копытом (видоизмененный коготь)
Миоцен 26×10^6 лет	Мерикгиппус  До 1,0 м		Очень сухая среда – прерии. Быстрота бега становится важнее. Редукция 2-го и 4-го пальцев. При беге опора на 3-й палец. Удлинение оставшихся пястных и плюсневых костей
Олигоцен 38×10^6 лет	Мезогиппус  До 0,6 м		Сухая среда – леса и прерии. Быстрота передвижения важна для бегства от врагов. Хорошо различимы только три пальца. 3-й палец сильно увеличен
Эоцен 54×10^6 лет	Эогиппус  Примерно 0,4 м		Величиной с лисицу. Обитал на мягкой почве вблизи рек. Четыре пальца на передних и три на задних ногах увеличивали площадь опоры



Рыба

Саламандра

Черепаха

Крыса

Человек

Рис. 133. Сходство эмбрионов позвоночных на ранних стадиях развития

Легко установить родство между организмами при сравнении их эмбриональных стадий развития. Оказывается, любой организм в своем индивидуальном развитии повторяет стадии зародышевого развития предковых форм (рис. 133). В эмбриогенезе у всех позвоночных закладывается хорда, которая у ланцетника остается на всю жизнь, а у высших позвоночных в дальнейшем замещается позвоночником. На ранних стадиях развития у зародышей птиц и млекопитающих (включая человека) сердце состоит всего из двух отделов: предсердия и желудочка, а в глотке закладываются жаберные щели и перегородки, что объясняется происхождением этих классов от предков, дышавших жабрами. У усатых китов в эмбриональном периоде закладываются зубы, которые в дальнейшем разрушаются.

Биогеография. Наука о закономерностях распространения на Земле живых организмов тоже располагает данными в пользу эволюционных преобразований живой природы. Распределение животных и растений на планете имеет неравномерный, прерывистый характер, который нельзя объяснить только климатическими особенностями. Дрейф континентов, который приводил к возникновению географической изоляции, объясняет особенности развития и распространения видов.

Раннее отделение Австралии, Океании и Южной Америки привело к тому, что на этих территориях сохранилась древняя фауна (сумчатые и яйцекладущие млекопитающие), эволюция которой шла независимо от фауны других материков. Очень похож животный и растительный мир Евразии и Северной Америки — континентов, которые сравнительно недавно еще были связаны друг с другом сушей в районе Берингова пролива. Напротив, природа Южной и Северной Америки значительно отличается, потому что эти континенты в недалеком прошлом были самостоятельными участками суши, и лишь позднее соединились Панамским перешейком.

Мы привели далеко не полный перечень доказательств в пользу существования эволюционного процесса, но даже этого достаточно, чтобы убедиться в том, что эволюция живых организмов — это реальный процесс, существующий во времени и в пространстве.

Вопросы для повторения и задания

1. Докажите существование эволюции с точки зрения эмбриологии.
2. Расскажите о палеонтологических доказательствах эволюционного процесса.

3. Какие органы называют гомологичными, какие — аналогичными?
4. Приведите примеры сходства строения органов у неродственных групп животных, обитающих в одинаковых условиях.
5. В чем причина появления рудиментов и атавизмов? Почему они служат доказательствами процесса эволюции?

4.14. Развитие представлений о происхождении жизни на Земле

Вспомните!

Что такое жизнь?

Назовите основные свойства живого.

Вопросы о происхождении жизни на Земле и о возникновении самой Земли всегда волновали человечество. Являясь вечными и глобальными, эти проблемы и сегодня еще далеки от решения. Мы располагаем доказательствами эволюции органического мира, но как происходило возникновение жизни на Земле, мы можем только предполагать. За всю свою историю человечество создало множество теорий и выдвинуло гипотез, которые пытались объяснить, когда и как появилась жизнь на нашей планете.

Креационизм. Согласно концепции *креационизма*, жизнь возникла в прошлом в результате уникального акта творения. В идею сотворения мира можно верить, но ее нельзя доказать. Так как процесс божественного сотворения мира произошел, по мнению ее сторонников, лишь однажды и, следовательно, его невозможно наблюдать, повторить или смоделировать, то наука не может изучать это происхождение жизни как явление. Поэтому концепция креационизма вряд ли когда-либо будет доказана или опровергнута.

Гипотеза самопроизвольного зарождения. Сторонники данной гипотезы утверждали, что живые организмы возникали неоднократно из неживой материи путем самозарождения (концепция *абиогенеза*). Эти идеи были распространены в Древнем Китае, Вавилоне и Египте и являлись альтернативой концепции креационизма. Крупнейший ученый Древней Греции Аристотель, основатель биологии, считал, что существует некое «активное начало», которое может создать живой организм. Совершенно справедливо считая, что подобное активное начало

присутствует в оплодотворенном яйце, он приписывал такое же свойство тине, солнечному свету и гниющему мясу.

После распространения в Европе христианства идеи самопроизвольного зарождения жизни отступили на второй план, но не потеряли всех своих приверженцев. Знаменитый фламандский ученый Ван Гельмонт (1579—1644) сообщил об «удачном» эксперименте по созданию мышей в темном шкафу из грязной рубашки и горсти зерна пшеницы. Исследователь считал, что активным началом в процессе самозарождения мышей служил человеческий пот.

Серьезный удар по концепции абиогенеза нанесли эксперименты итальянского врача Франческо Реди. В 1688 г. Реди установил, что маленькие белые червеобразные личинки мух появляются не из гнилого мяса, а из яиц, отложенных мухами. В сосудах с гнилым мясом, закрытых марлей, личинки не появлялись, а в открытых сосудах, куда свободно залетали мухи, через несколько дней Реди обнаружил множество личинок. Результаты этих экспериментов подтвердили концепцию *биогенеза*, согласно которой жизнь может возникнуть только из уже существующей жизни.

После изобретения микроскопа идея самозарождения обрела второе дыхание. Ее сторонники утверждали, что уж простейшие одноклеточные организмы точно возникают из неживой материи. Проведенные опыты итальянского ученого Ладзаро Спалланцани (1765 г.) и молодого российского исследователя Мартына Матвеевича Тереховского (1775 г.) доказали, что если мясные или овощные отвары прокипятить, а затем герметично закрыть, никаких признаков жизни в них обнаружить невозможно, т. е. никакие микроорганизмы в них не появляются. Однако многие ученые считали, что эти доказательства неубедительны, потому что в закрытый сосуд не может проникнуть «жизненная сила», необходимая для самозарождения жизни. Требовались новые, более достоверные доказательства.

Парижская академия наук объявила конкурс на лучшее решение вопроса о том, возможно ли в обычных условиях самозарождение жизни. Эту проблему блестяще решил выдающийся французский ученый Луи Пастер. Он повторил опыт Спалланцани в открытом сосуде. Для этого он сделал специальную колбу с длинным тонким горлышком в форме буквы «S» (такие сосуды сейчас называют пастеровскими колбами). Налив в колбу бульон, он прокипятил его на огне, не закрывая горлышко. «Жизненной силе» ничего не мешало проникнуть в колбу,

а вот микроорганизмы туда попасть не могли — они оседали на изгибах стеклянной трубки, поэтому бульон оставался стерильным. В колбе с отломанным горлышком бульон мутнел очень быстро, бактерии легко проникали в сосуд и размножались в питательной среде (рис. 134).

Таким образом, опыт Пастера однозначно отрицательно ответил на вопрос о возможности самозарождения жизни, и принцип «все живое только из живого» мог считаться доказанным. Однако на вопрос о происхождении жизни опыты Пастера не ответили, более того, они породили новую проблему. Если для появления любого живого организма требуется другой живой организм, если, согласно клеточной теории Шлейдена и Шванна, клетка происходит только от клетки, то откуда взялся тот самый первый организм и та самая изначальная клетка? Может быть, на какой-то стадии истории нашей планеты произошел переход от неживого к живому? Не было ли это первичным самозарождением?

Гипотеза стационарного состояния, или вечности жизни. Сторонники идеи вечности жизни считают, что жизнь на Земле никто никогда не создавал, потому что она существует вечно. Виды тоже никогда не возникали, они были и есть, и эволюционировать они не могут. Единственное, что им может грозить, это изменение численности или вымирание, если условия станут не подходящими для их существования.

Гипотеза панспермии. Эта гипотеза была выдвинута в 1895 г. шведским физиком Сванте Августом Аррениусом. Ее сторонником был известный русский ученый В. И. Вернадский. Так же как и гипотеза стационарного состояния, гипотеза панспермии не предлагает никакого объяснения первичного происхождения жизни. Она утверждает, что жизнь была занесена на Землю из космоса с других планет вместе с метеоритами или космической пылью. Действительно, в последнее время появились сообщения о том, что в метеоритах обнаружены следы некоторых органических веществ, а в 1996 г. в камне, доставленном с Марса, были найдены структуры, похожие на бактерии.

Современные лабораторные исследования доказывают высокую устойчивость некоторых живых организмов к неблагоприятным воздействиям. Споры и семена растений после длительного выдерживания их в жидком кислороде и азоте сохраняют всхожесть. Не теряют способности к оплодотворению сперматозоиды, находившиеся десятки лет в замороженном состоянии в жидком азоте. Споры бактерий сохраняют

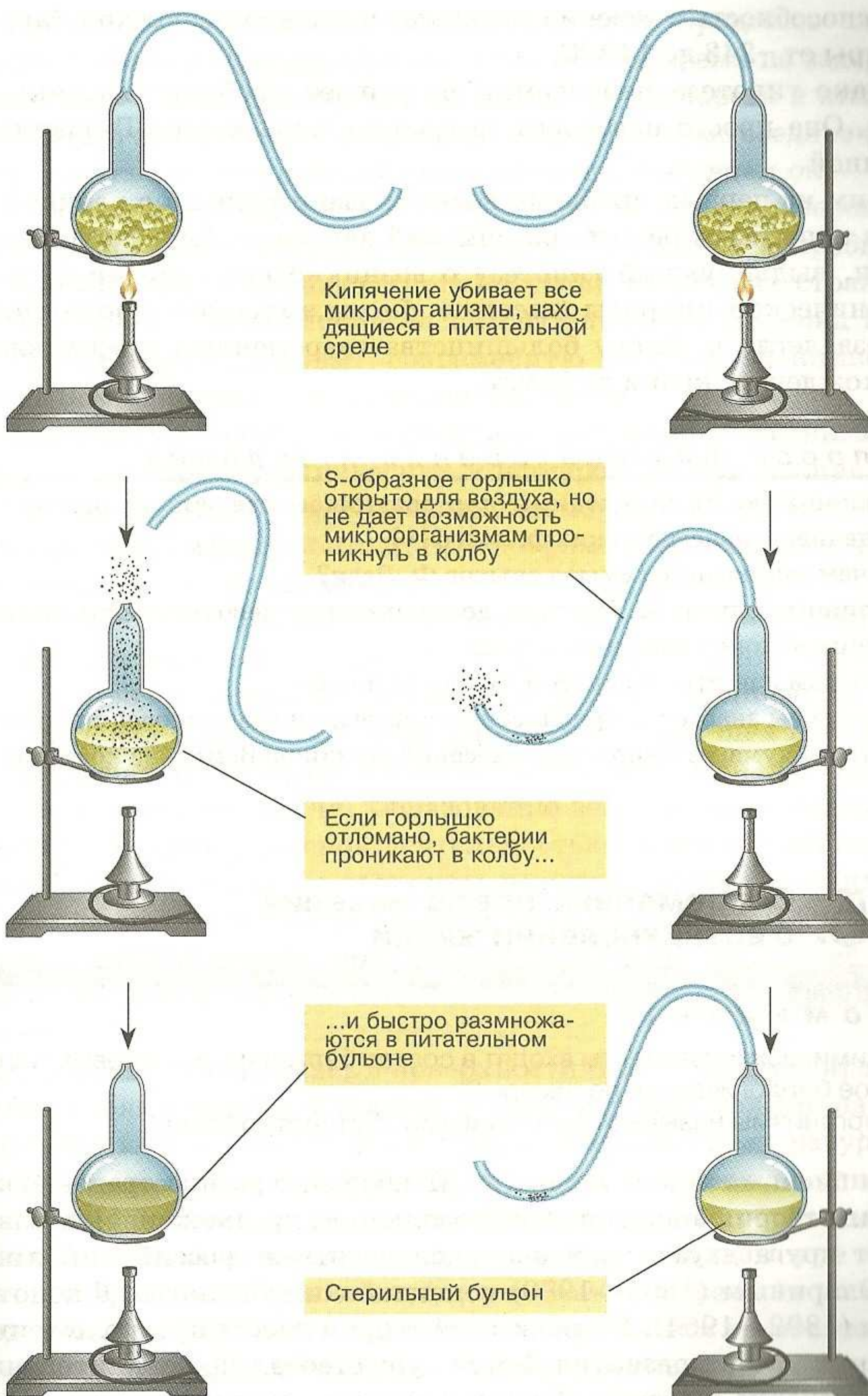


Рис. 134. Опыт Л. Пастера

жизнеспособность в течение тысяч лет и выдерживают колебания температуры от -243 до 140°C .

Однако гипотеза панспермии не решает проблему возникновения жизни. Она просто переносит ее в иную часть нашей Галактики или Вселенной.

Одним из первых проблему возникновения жизни с научной точки зрения попытался решить российский академик Александр Иванович Опарин, выдвинувший гипотезу о возникновении жизни из веществ неорганической природы (*теория биохимической эволюции*). Эта гипотеза легла в основу большинства современных представлений о происхождении жизни на Земле.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие условия необходимы для возникновения живых организмов по мнению древнегреческих философов?
2. В чем заключается смысл опытов Ф. Реди?
3. Опишите опыты Л. Пастера, доказывающие невозможность самозарождения жизни в обычных условиях.
4. Что вам известно о гипотезе вечности жизни?
5. Какие вы знаете материалистические теории возникновения жизни?
6. Что вы думаете о гипотезе занесения жизни на Землю из космоса?

4.15. Современные представления о возникновении жизни

Вспомните!

Какие химические элементы входят в состав белков и нуклеиновых кислот?
Что такое биологические полимеры?
Какие организмы называют автотрофами? Гетеротрофами?

Теория биохимической эволюции. Наибольшее распространение в XX в. получила теория биохимической эволюции, предложенная независимо друг от друга двумя выдающимися учеными: российским химиком А. И. Опариным (1894—1980) и английским биологом Джоном Холдейном (1892—1964). В основе этой теории лежит предположение, что на ранних этапах развития Земли существовал продолжительный период, в течение которого абиогенным путем образовывались органиче-

ские соединения. Источником энергии для этих процессов служило ультрафиолетовое излучение Солнца, которое в то время не задерживалось озоновым слоем, потому что ни озона, ни кислорода в атмосфере древней Земли не было. Синтезированные органические соединения в течение десятков миллионов лет накапливались в древнем океане, образуя так называемый «первичный бульон», в котором, вероятно, и возникла жизнь в виде первых примитивных организмов — пробионтов.

Эта гипотеза была принята многими учеными разных стран, и на ее основе в 1947 г. английский исследователь Джон Десмонд Бернал (1901—1971) сформулировал современную теорию возникновения жизни на Земле, названную *теорией биопоэза*.

Бернал выделил три основные стадии возникновения жизни: 1) абиогенное возникновение органических мономеров; 2) образование биологических полимеров; 3) формирование мембранных структур и первичных организмов (пробионтов). Рассмотрим более подробно, что происходило на каждом из этих этапов.

Абиогенное возникновение органических мономеров. Наша планета возникла около 4,6 млрд лет назад. Постепенное уплотнение планеты сопровождалось выделением огромного количества тепла, распадались радиоактивные соединения, от Солнца шел поток жесткого ультрафиолетового излучения. Спустя 500 млн лет началось медленное остывание Земли. Образование земной коры сопровождалось активной вулканической деятельностью. В первичной атмосфере накапливались газы — продукты реакций, происходящих в недрах Земли: двуокись углерода (CO_2), оксид углерода (CO), аммиак (NH_3), метан (CH_4), сероводород (H_2S) и многие другие. Такие газы и в настоящее время выбрасываются в атмосферу при извержениях вулканов.

Вода, постоянно испаряясь с поверхности Земли, конденсировалась в верхних слоях атмосферы и вновь выпадала в виде дождей на раскаленную земную поверхность. Постепенное снижение температуры привело к тому, что на Землю обрушились ливни, сопровождающиеся непрерывными грозами. На земной поверхности начали образовываться водоемы. В горячей воде растворялись атмосферные газы и те вещества, которые вымывались из земной коры. В атмосфере из ее компонентов под действием частых и сильных электрических грозовых разрядов, мощного ультрафиолетового излучения, активной вулканической деятельности, которая сопровождалась выбросами радиоактивных со-

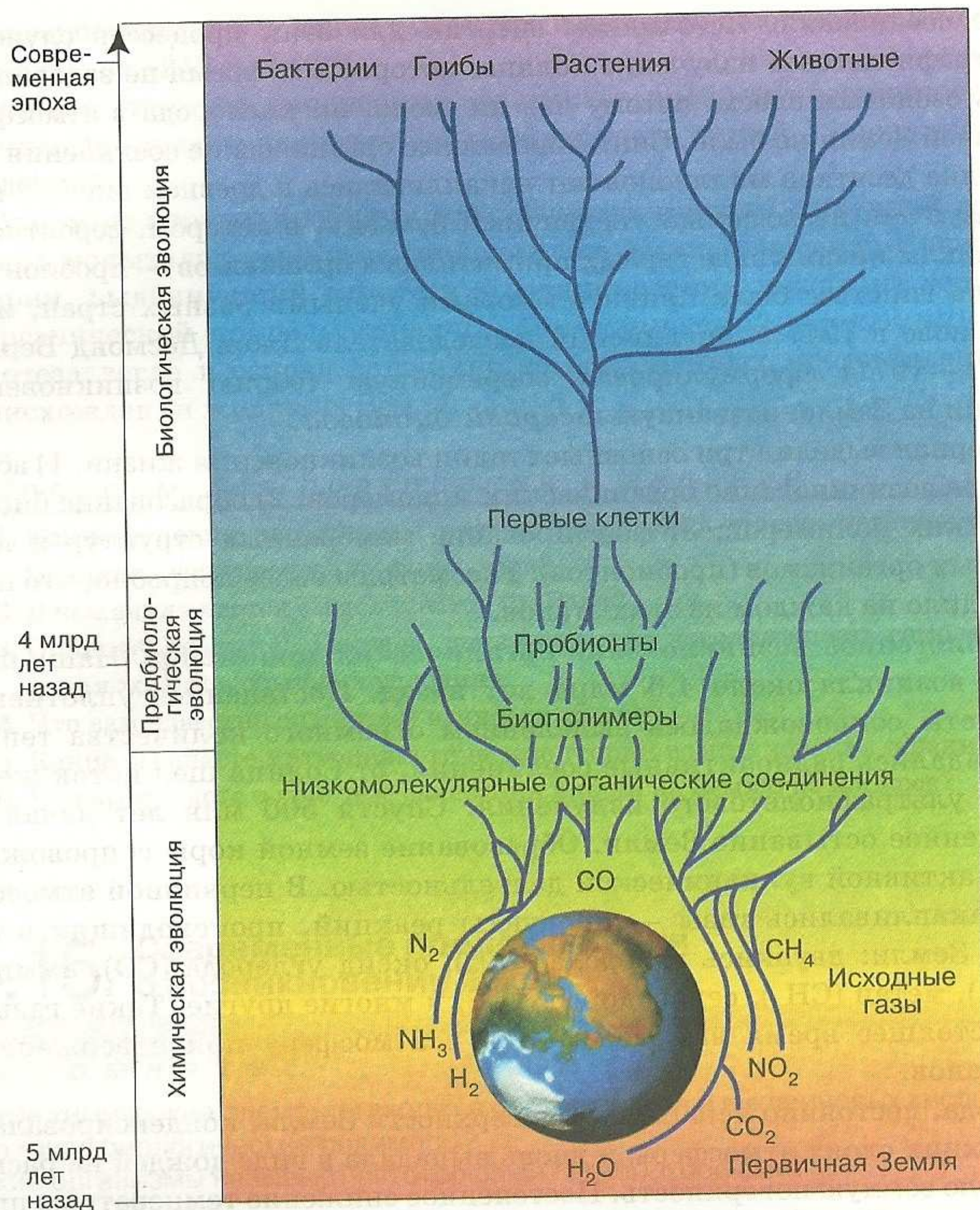


Рис. 135. Основные этапы формирования жизни

единений, образовывались простейшие органические вещества (формальдегид, глицерин, некоторые аминокислоты, мочевина, молочная кислота и др.). Так как в атмосфере свободного кислорода еще не было, эти соединения, попадая в воды первичного океана, не окислялись

и могли накапливаться, усложняясь в строении и образуя концентрированный «первичный бульон». Это продолжалось в течение десятков миллионов лет (рис. 135).

В 1953 г. американский ученый Стэнли Миллер осуществил эксперимент, в котором смоделировал условия, существовавшие на Земле 4 млрд лет назад (рис. 136). В качестве источника энергии вместо грозовых разрядов и ультрафиолетового излучения ученый использовал электрический разряд высокого напряжения (60 тыс. вольт). Пропускание разряда в течение нескольких дней соответствовало по количеству энергии периоду в 50 млн лет на древней Земле. После окончания эксперимента в сконструированной установке были обнаружены органические соединения: мочевина, молочная кислота и некоторые простые аминокислоты.

Образование биологических полимеров и коацерватов. Первый этап биохимической эволюции был подтвержден многочисленными экспериментами, а вот что происходило на следующем этапе, ученые

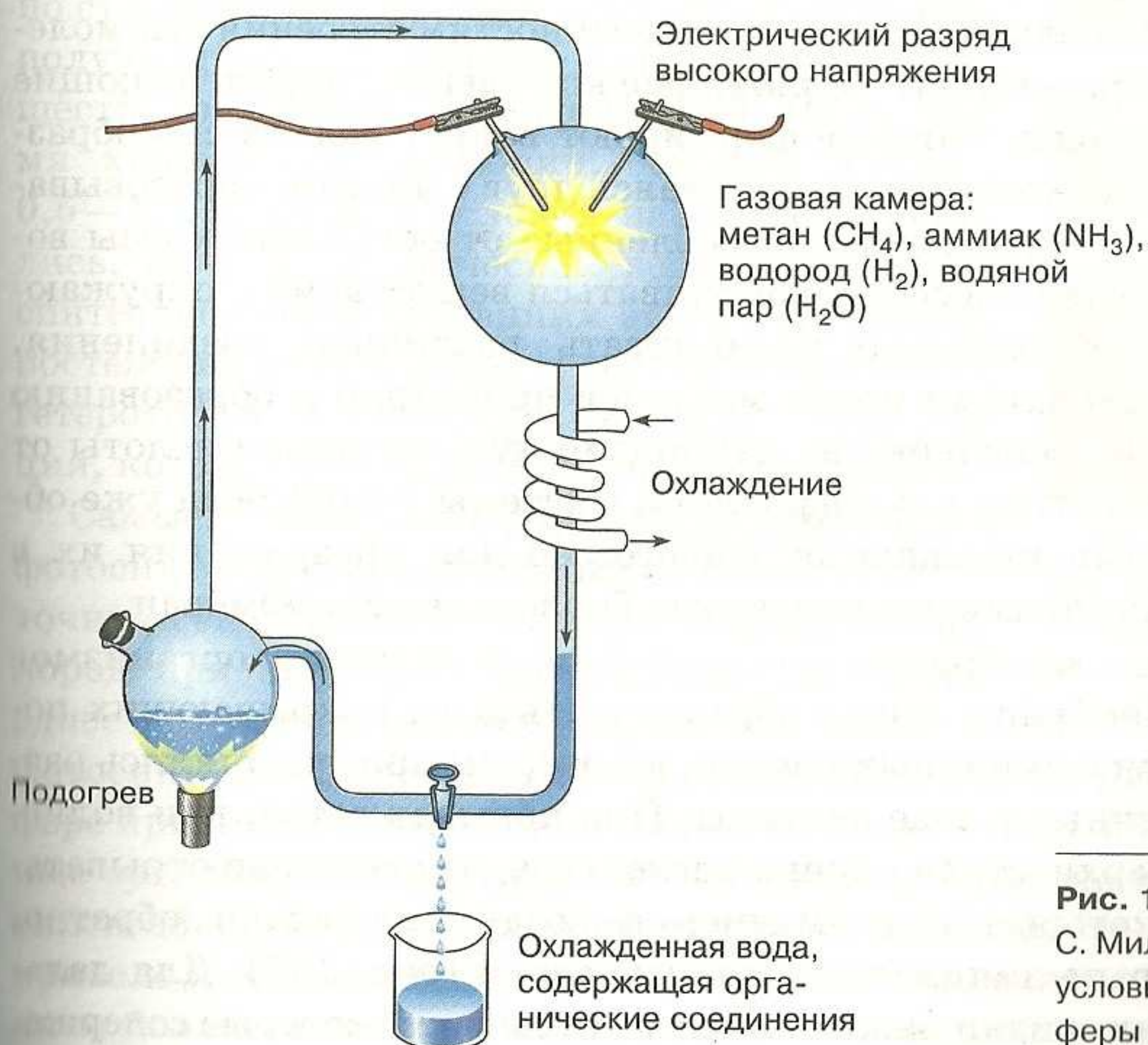


Рис. 136. Эксперимент С. Миллера, имитирующий условия первичной атмосферы Земли

могли только предполагать, опираясь на знания химии и молекулярной биологии. По-видимому, образовавшиеся органические вещества взаимодействовали друг с другом и с неорганическими соединениями, попадающими в водоемы. Часть из них разрушалась, летучие соединения переходили в атмосферу. Высокая температура вызывала постоянное испарение воды из первичных водоемов, что приводило к многократной концентрации органических соединений. Жирные кислоты, вступая в реакцию со спиртами, образовывали липиды, которые формировали жировые пленки на поверхности водоемов. Аминокислоты, соединяясь друг с другом, образовывали пептиды. Важным событием этого этапа стало появление нуклеиновых кислот — молекул, способных к редупликации. Современные биохимики считают, что первыми образовывались короткие цепи РНК, которые могли синтезироваться самостоятельно, без участия специальных ферментов. Образование нуклеиновых кислот и взаимодействие их с белками стало необходимой предпосылкой для возникновения жизни, в основе которой лежат реакции матричного синтеза и обмен веществ.

Опарин считал, что решающая роль в превращении неживого в живое принадлежала белкам. Благодаря особенностям строения эти молекулы способны образовывать коллоидные комплексы, притягивающие к себе молекулы воды, которые формируют вокруг белков своеобразную оболочку. Такие комплексы, сливаясь друг с другом, образовывали *коацерваты* — структуры, обособленные от остальной массы воды. Коацерваты были способны обмениваться веществами с окружающей средой и избирательно накапливать различные соединения. Поглощение коацерватами ионов металлов приводило к образованию ферментов. Белки в коацерватах защищали нуклеиновые кислоты от разрушающего действия ультрафиолета. Системы такого рода уже обладали некоторыми признаками живого, но для превращения их в первые живые организмы им не хватало биологических мембран.

Формирование мембранных структур и первичных организмов (пробионтов). Мембраны могли образовываться из покрывающих поверхности водоемов липидных пленок, к которым присоединялись различные растворенные в воде пептиды. При порывах ветра, при волнении водоема поверхностная пленка изгибалась, от нее могли отрываться пузырьки, которые поднимались в воздух и падали обратно, покрываясь вторым липидно-пептидным слоем (рис. 137). Для дальнейшей эволюции жизни важны были те пузырьки, которые содержа-

ли в себе коацерваты с белково-нуклеиновыми комплексами. Биологические мембраны обеспечивали защиту и независимое существование коацерватам, создавая упорядоченность биохимических процессов. В дальнейшем сохранялись и превращались в простейшие живые организмы только те структуры, которые были способны к саморегуляции и самовоспроизводству. Так возникли *пробионты* — примитивные гетеротрофные организмы, питавшиеся органическими веществами первичного бульона. Произошло это 3,5—3,8 млрд лет назад. Закончилась химическая эволюция, наступило время *биологической эволюции* живой материи (см. рис. 135).

Первые организмы. Первые живые организмы были анаэробными гетеротрофами, не имели внутриклеточных структур и были похожи по строению на современных прокариотов. Они получали пищу и энергию из органических веществ абиогенного происхождения. Но за время химической эволюции, которая длилась 0,5—1,0 млрд лет, условия на Земле изменились. Запасы органических веществ, которые синтезировались на ранних этапах эволюции, постепенно истощались, и между первичными гетеротрофами возникала жесткая конкуренция, которая ускорила появление автотрофов.

Самые первые автотрофы были способны к фотосинтезу, т. е. использовали в качестве источника энергии солнечную радиацию, но кислород при этом не образовывали. Лишь позднее появились цианобактерии, способные к фотосинтезу с выделением кислорода. Накопление кислорода в атмосфере привело к образованию озонового слоя, который защитил первичные организмы от ультрафиолетового излучения, но при этом прекратился абиогенный синтез органических веществ. Наличие кислорода привело к образованию аэробных организмов, которые сегодня составляют большинство среди живых организмов.

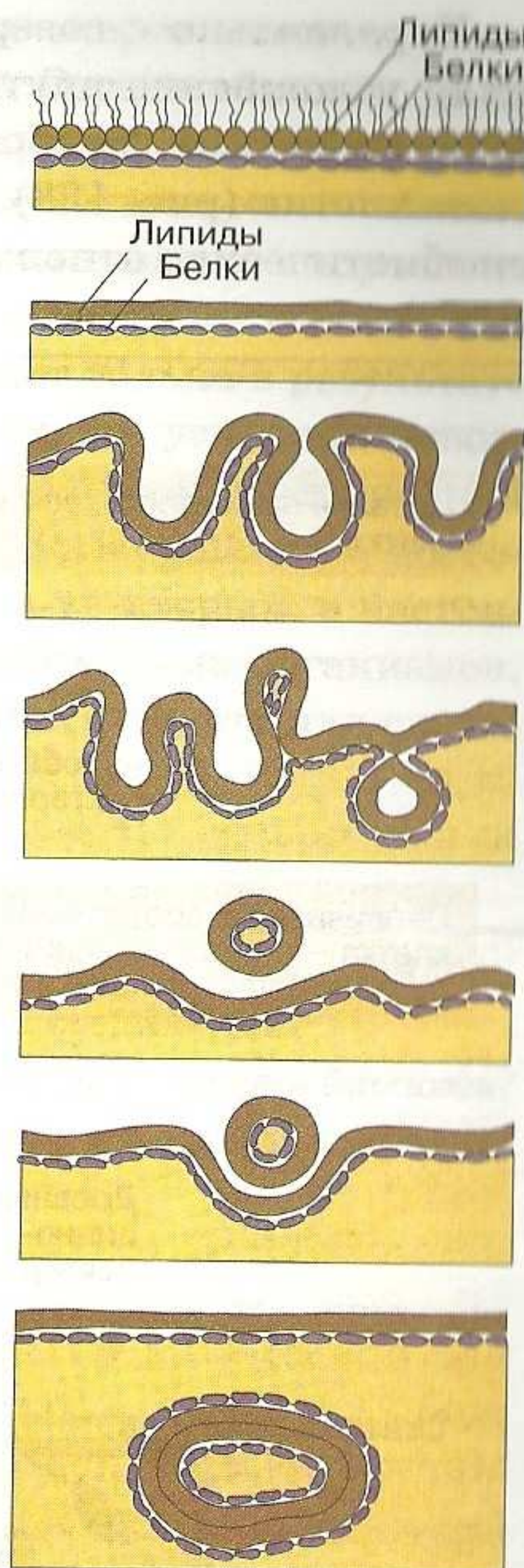


Рис. 137. Формирование мембранных структур (по А. И. Опарину)

Параллельно с совершенствованием обменных процессов происходило усложнение внутреннего строения организмов: образовывались ядро, рибосомы, мембранные органоиды, т. е. возникали эукариотические клетки (рис. 138). Некоторые первичные гетеротрофы вступали в симбиотические отношения с аэробными бактериями. Захватив их, ге-

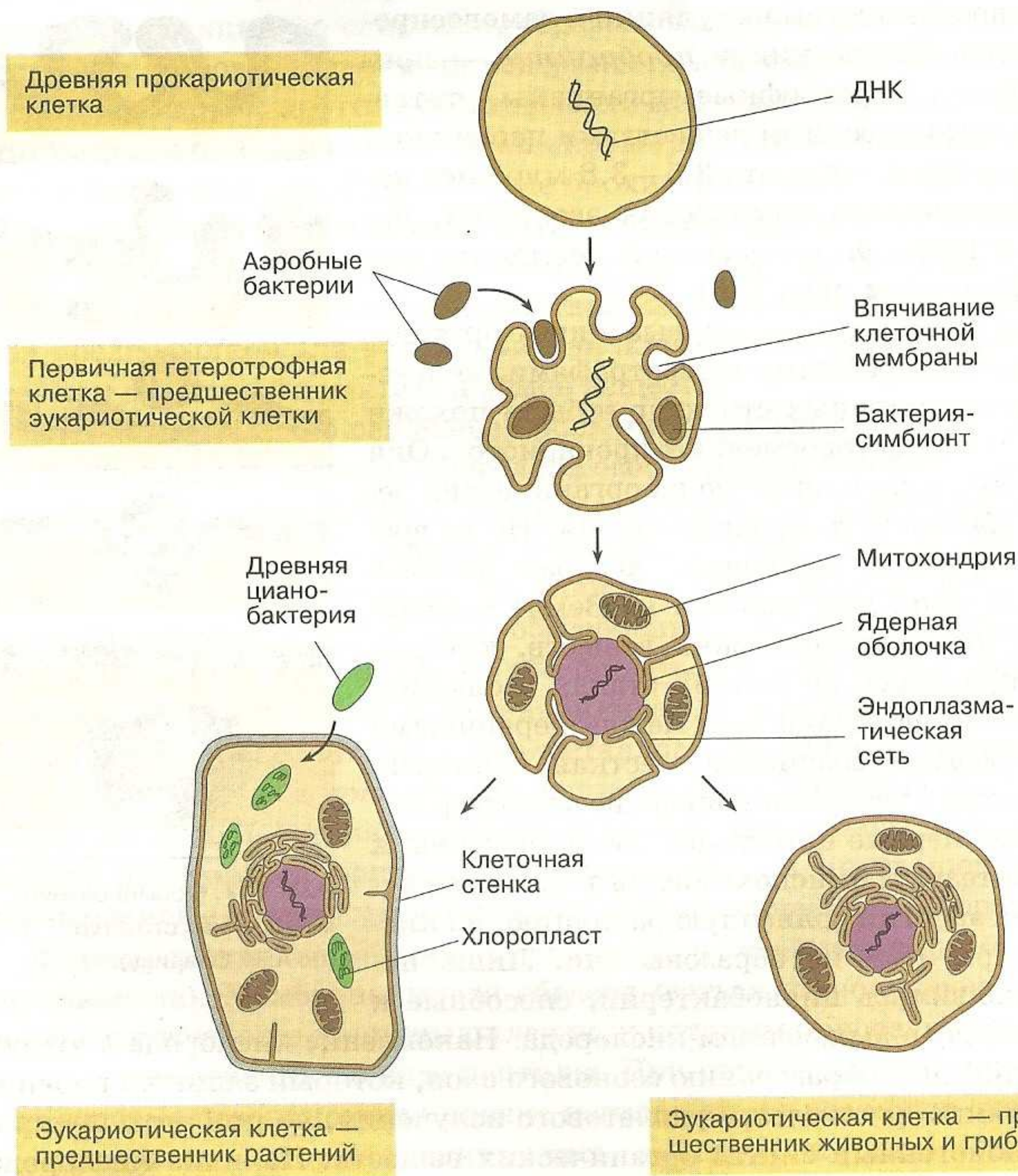


Рис. 138. Возможный путь образования эукариотических организмов

теротрофы начинали использовать их в качестве энергетических станций. Так возникли современные митохондрии. Эти симбионты дали начало животным и грибам. Другие гетеротрофы захватывали не только аэробных гетеротрофов, но и первичных фотосинтетиков — цианобактерий, которые вступали в симбиоз, образуя нынешние хлоропласты. Так появились предшественники растений.

В настоящее время живые организмы возникают только в результате размножения. Самозарождение жизни в современных условиях невозможно по нескольким причинам. Во-первых, в условиях кислородной атмосферы Земли органические соединения быстро разрушаются, поэтому не могут накопиться и усовершенствоваться. А во-вторых, в настоящее время существует огромное количество гетеротрофных организмов, которые используют любое скопление органических веществ для своего питания.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие космические факторы на ранних этапах развития Земли явились предпосылками для возникновения органических соединений?
2. Назовите основные стадии возникновения жизни согласно теории биопоэза.
3. Как образовывались, какими свойствами обладали и в каком направлении эволюционировали коацерваты?
4. Расскажите, как возникли пробионты.
5. Опишите, как могло происходить усложнение внутреннего строения первых гетеротрофов.
6. Почему невозможно самозарождение жизни в современных условиях?

4.16. Развитие жизни на Земле

Вспомните!

Что изучает наука палеонтология?

Какие эры и периоды в истории Земли вам известны?

Около 3,5 млрд лет назад на Земле наступила эпоха *биологической эволюции*, которая продолжается и сейчас. Менялся облик Земли: разрывая единые массивы суши, дрейфовали континенты, вырастали горные цепи, из морских глубин поднимались острова, длинными лав-

ками ползли с севера и с юга ледники. Возникали и исчезали многие виды. Чья-то история была скоротечна, а кто-то сохранялся практически в неизменном виде на протяжении миллионов лет. По самым скромным оценкам, сейчас на нашей планете обитает несколько миллионов видов живых организмов, а за всю долгую историю Земля видела примерно в 100 раз больше видов живых существ.

В конце XVIII в. возникла палеонтология — наука, изучающая историю живых организмов по их ископаемым остаткам и следам жизнедеятельности. Чем глубже расположен слой осадочных пород с окаменелостями, следами или отпечатками, пылью или спорами, тем древнее эти ископаемые организмы. Сравнение окаменелостей различных пластов горных пород позволило выделить в истории Земли несколько временных периодов, которые отличаются друг от друга особенностями геологических процессов, климатом, появлением и исчезновением определенных групп живых организмов.

Самые крупные промежутки времени, на которые подразделяют биологическую историю Земли, — это *эоны*: криптозой, или докембрий, и фанерозой. Эоны делят на *эры*. В криптозой выделяют две эры: архей и протерозой, в фанерозой — три эры: палеозой, мезозой и кайнозой. В свою очередь эры делят на периоды, а в периодах выделяют эпохи, или отделы. Современная палеонтология, используя новейшие методы исследования, воссоздала хронологию основных эволюционных событий, достаточно точно датируя появление и исчезновение тех или иных видов живых существ. Рассмотрим поэтапно становление органического мира на нашей планете.

Криптозой (докембрий). Это самая древняя эпоха, которая длилась около 3 млрд лет (85% времени биологической эволюции). В начале этого периода жизнь была представлена простейшими прокариотическими организмами. В самых древних известных на Земле осадочных отложениях *архейской эры* обнаружены органические вещества, которые, по-видимому, входили в состав древнейших живых организмов. В породах, чей возраст изотопным методом оценивается в 3,5 млрд лет, найдены окаменевшие цианобактерии.

Жизнь в этот период развивалась в водной среде, потому что только вода могла защитить организмы от солнечного и космического излучения. Первыми живыми организмами на нашей планете были анаэробные гетеротрофы, которые усваивали органические вещества из «первичного бульона». Истощение запасов органики способствовало услож-

нению строения первичных бактерий и появлению альтернативных способов питания — около 3 млрд лет назад возникли автотрофные организмы. Важнейшим событием архейской эры стало появление кислородного фотосинтеза. В атмосфере начал накапливаться кислород.

Протерозойская эра началась около 2,5 млрд лет назад и длилась 2 млрд лет. В этот период, около 2 млрд лет назад, количество кислорода достигло так называемой «точки Пастера» — 1% от его содержания в современной атмосфере. Ученые считают, что такой концентрации было достаточно для появления аэробных одноклеточных организмов, возник новый тип энергетических процессов — дыхание. В результате сложного симбиоза разных групп прокариот появились и начали активно развиваться эукариоты. Образование ядра повлекло за собой возникновение митоза, а в дальнейшем и мейоза. Примерно 1,5—2 млрд лет назад возникло половое размножение. Важнейшим этапом эволюции живой природы стало появление многоклеточности (около 1,3—1,4 млрд лет назад). Первыми многоклеточными организмами были водоросли. Многоклеточность способствовала резкому увеличению многообразия организмов. Появилась возможность специализации клеток, образования тканей и органов, распределения функций между частями тела, что привело в дальнейшем к усложнению поведения.

В протерозое сформировались все царства живого мира: бактерии, растения, животные и грибы. В последние 100 млн лет протерозойской эры произошел мощный всплеск разнообразия организмов: возникли и достигли высокой степени сложности разные группы беспозвоночных (губки, кишечнополостные, черви, иглокожие, членистоногие, моллюски). Увеличение количества кислорода в атмосфере привело к формированию озонового слоя, защитившего Землю от излучения, поэтому жизнь могла выходить на сушу. Около 600 млн лет назад, в конце протерозоя, на сушу вышли грибы и водоросли, образовав древнейшие лишайники. На рубеже протерозоя и следующей эры появились первые хордовые организмы.

Фанерозой. Эон, состоящий из трех эр, охватывает около 15% всего времени существования жизни на нашей планете.

Палеозойская эра началась 570 млн лет назад и продолжалась около 340 млн лет. В это время на планете шли интенсивные горообразовательные процессы, сопровождавшиеся высокой вулканической активностью, сменяли друг друга оледенения, периодически на сушу на-

ступали и отступали моря. В эре древней жизни (греч. *palaios* — древний) выделяют 6 периодов: кембрийский (кембрий), ордовикский (ордовик), силурийский (силур), девонский (девон), каменноугольный (карбон) и пермский (пермь).

В кембрии и ордовике увеличивается разнообразие животного мира океана, это время расцвета медуз и кораллов. Появляются и достигают огромного разнообразия древние членистоногие — трилобиты. Развиваются хордовые организмы (рис. 139).

В силуре климат становится более сухим, увеличивается площадь суши — единого континента Пангеи. В морях начинается массовое распространение первых настоящих позвоночных — бесчелюстных, от ко-

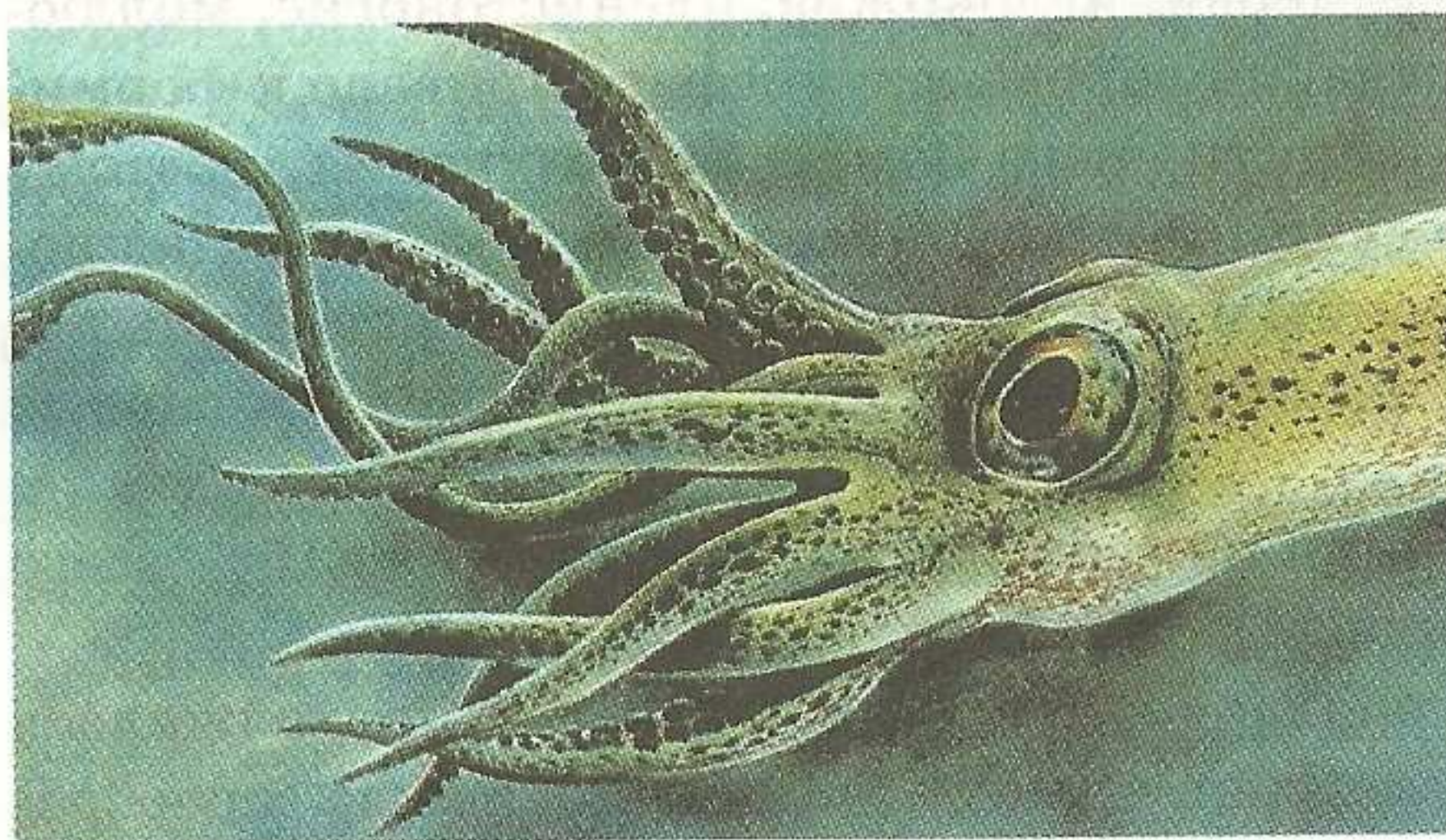
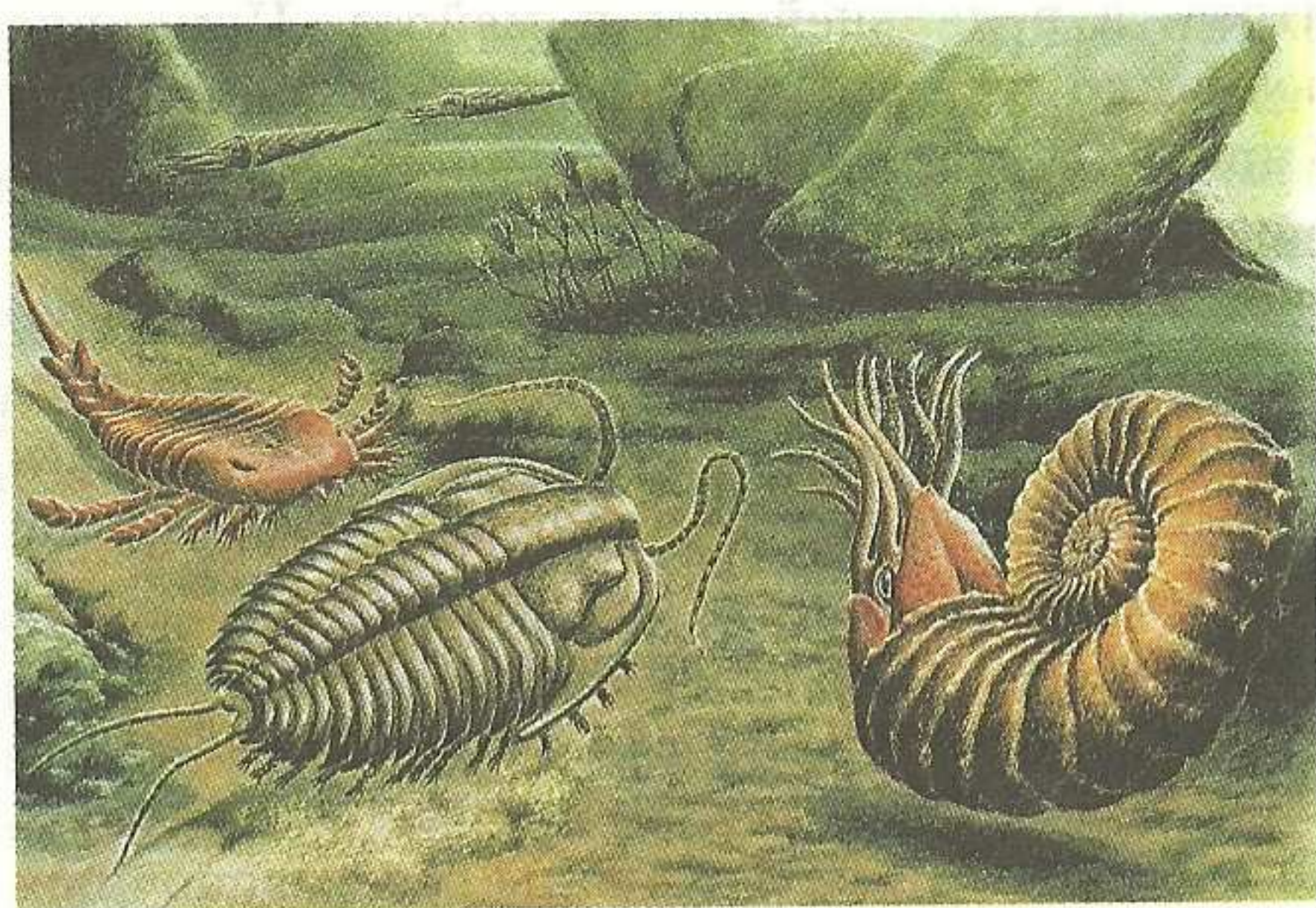


Рис. 139. Животный мир палеозойской эры

торых в дальнейшем произошли рыбы. Важнейшим событием силура становится выход на сушу споровых растений — псилофитов (рис. 140). Вслед за растениями на сушу выходят древние паукообразные, защищенные от сухого воздуха хитиновым панцирем.

В *девоне* увеличивается разнообразие древних рыб, господствуют хрящевые (акулы, скаты), но появляются и первые костные рыбы. В мелких пересыхающих водоемах с недостаточным количеством кислорода появляются двоякодышащие рыбы, имеющие помимо жабр органы воздушного дыхания — мешковидные легкие, и кистеперые рыбы, имеющие мускулистые плавники со скелетом, напоминающим скелет пятипалой конечности. От этих групп произошли первые наземные позвоночные — стегоцефалы (земноводные).

В *карбоне* на суше распространяются леса из древовидных хвощей, плаунов и папоротников, достигавших в высоту 30—40 м (рис. 141). Именно эти растения, падая в тропические болота, не сгнивали во влажном тропическом климате, а постепенно превращались в каменный уголь, который мы используем сейчас в качестве топлива. В этих



Рис. 140. Первые растения суши

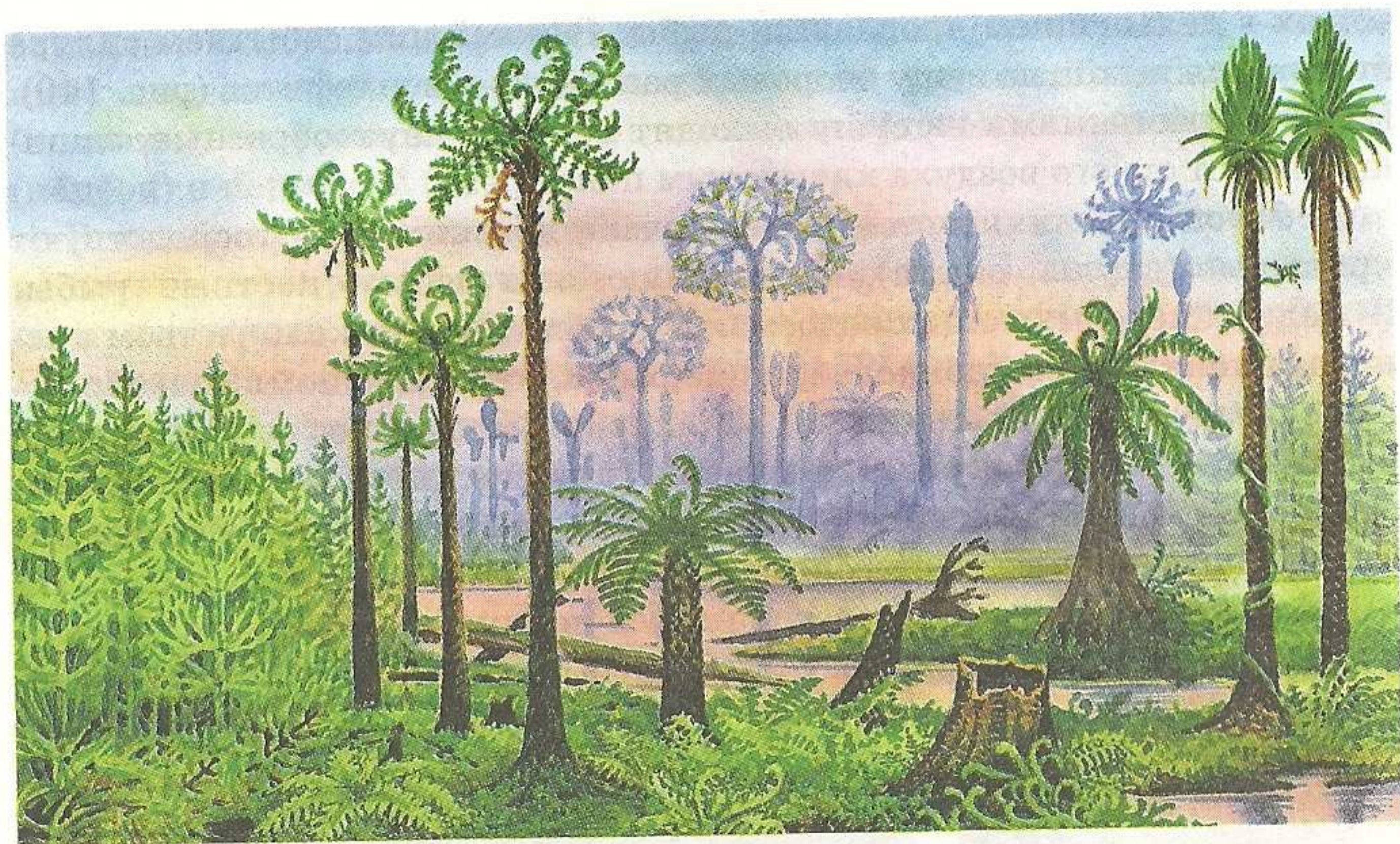


Рис. 141. Леса каменноугольного периода

лесах появились первые крылатые насекомые, напоминающие громадных стрекоз.

В последний период палеозойской эры — *пермский* — климат стал более холодным и сухим, поэтому те группы организмов, жизнедеятельность и размножение которых полностью зависели от воды, начали приходить в упадок. Сокращается разнообразие амфибий, чья кожа постоянно требовала увлажнения и личинки которых имели жаберный тип дыхания и развивались в воде. Основными хозяевами суши становятся пресмыкающиеся. Они оказались более приспособленными к новым условиям: переход на легочное дыхание позволил им защитить кожу от высыхания с помощью роговых покровов, а яйца, покрытые плотной оболочкой, могли развиваться на суше и защищали зародыш от воздействия окружающей среды. Образуются и широко распространяются новые виды голосеменных растений, причем некоторые из них дожили до настоящего времени (гинкго, араукарии).

Мезозойская эра началась около 230 млн лет назад, длилась примерно 165 млн лет и включала три периода: триасовый, юрский и меловой. В эту эру продолжалось усложнение организмов и темпы эволю-

ции возрастали. В течение почти всей эры на суше господствовали голосеменные растения и пресмыкающиеся (рис. 142).

Триасовый период — начало расцвета динозавров; появляются крокодилы и черепахи. Важнейшим достижением эволюции является возникновение теплокровности, появляются первые млекопитающие. Резко сокращается видовое разнообразие амфибий и почти полностью вымирают семенные папоротники.

В *юрском периоде* господствуют голосеменные растения и пресмыкающиеся. В образовавшемся за счет дрейфа континентов Атлантическом океане появляются головоногие моллюски. В конце периода появляются археоптериксы.

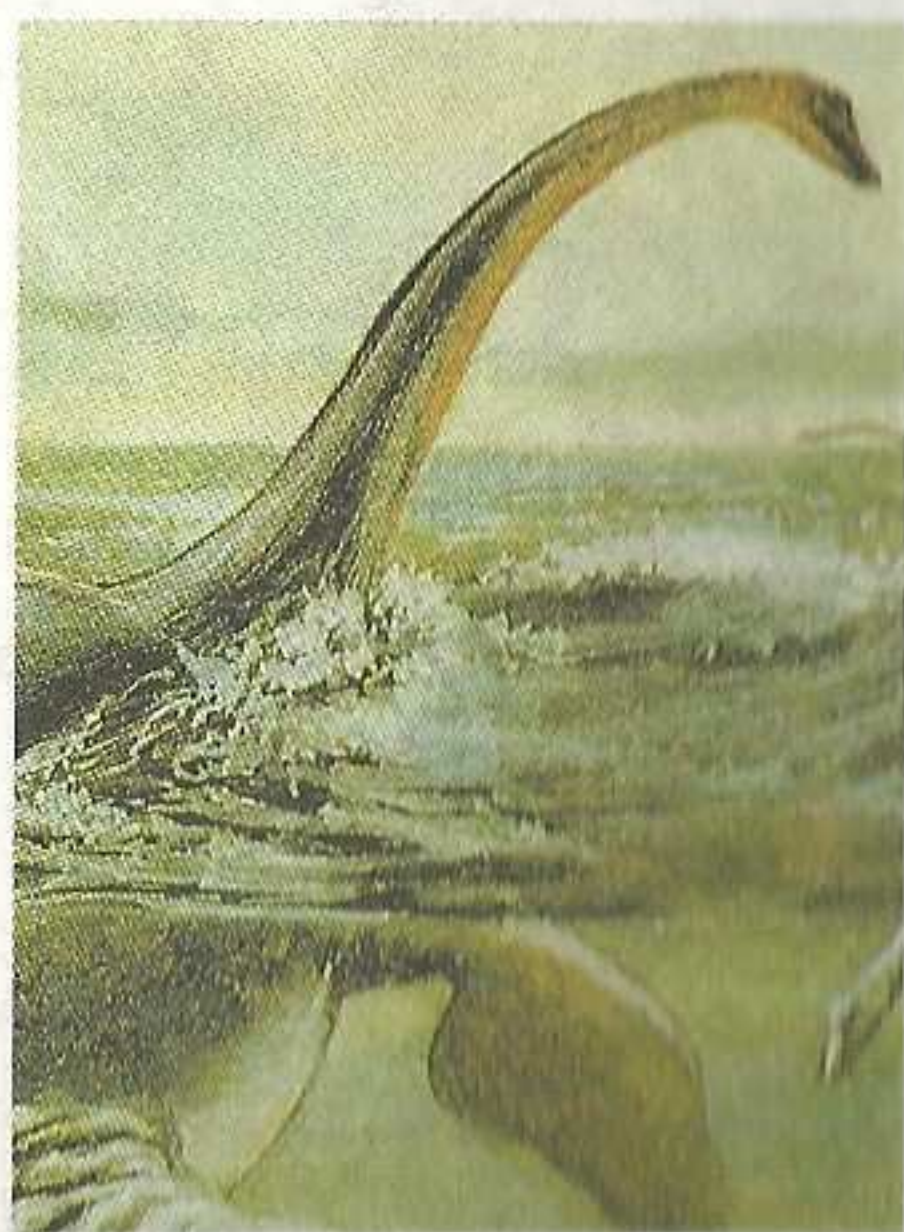
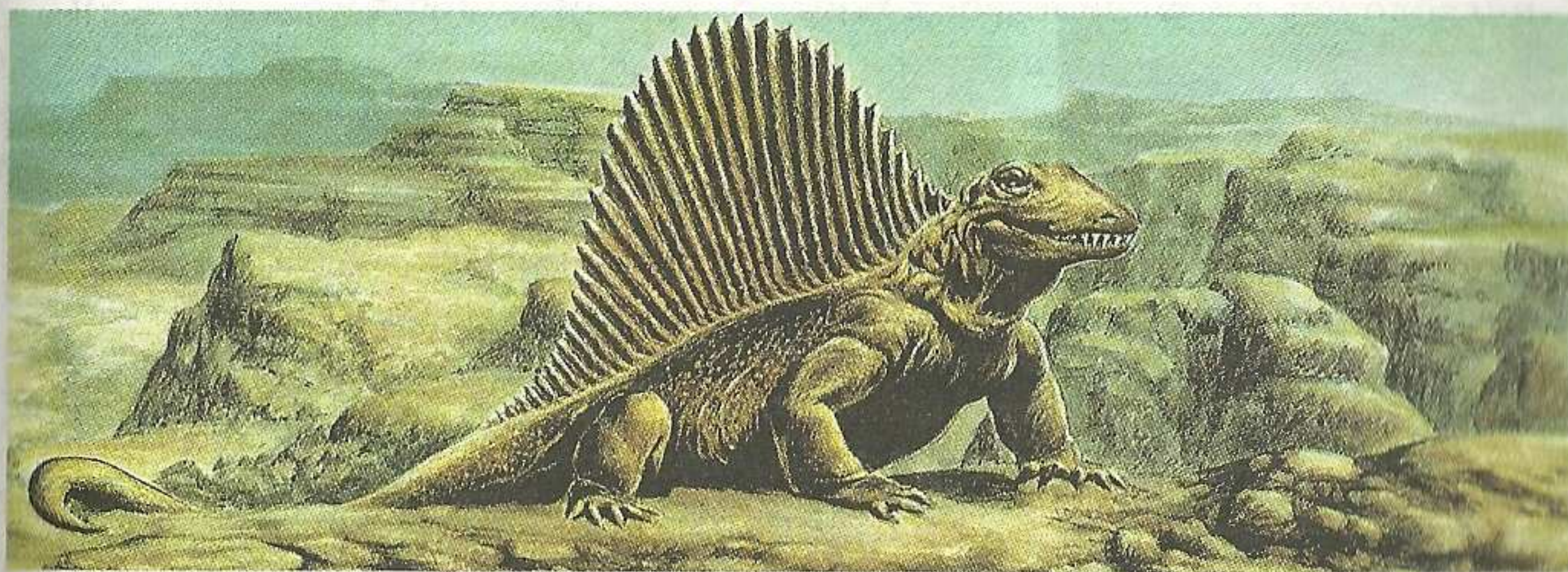


Рис. 142. Животный мир мезозойской эры

Меловой период характеризуется образованием высших млекопитающих и настоящих птиц. Появляются и быстро распространяются покрытосеменные растения, постепенно вытесняющие голосеменные и папоротникообразные. Некоторые покрытосеменные растения, возникшие в меловом периоде, сохранились до наших дней (дубы, ивы, эвкалипты, пальмы). В конце периода происходит массовое вымирание динозавров.

Кайнозойская эра, начавшаяся около 67 млн лет назад, продолжается и в настоящее время. Она подразделяется на три периода: палеогеновый (нижнетретичный) и неогеновый (верхнетретичный), об-

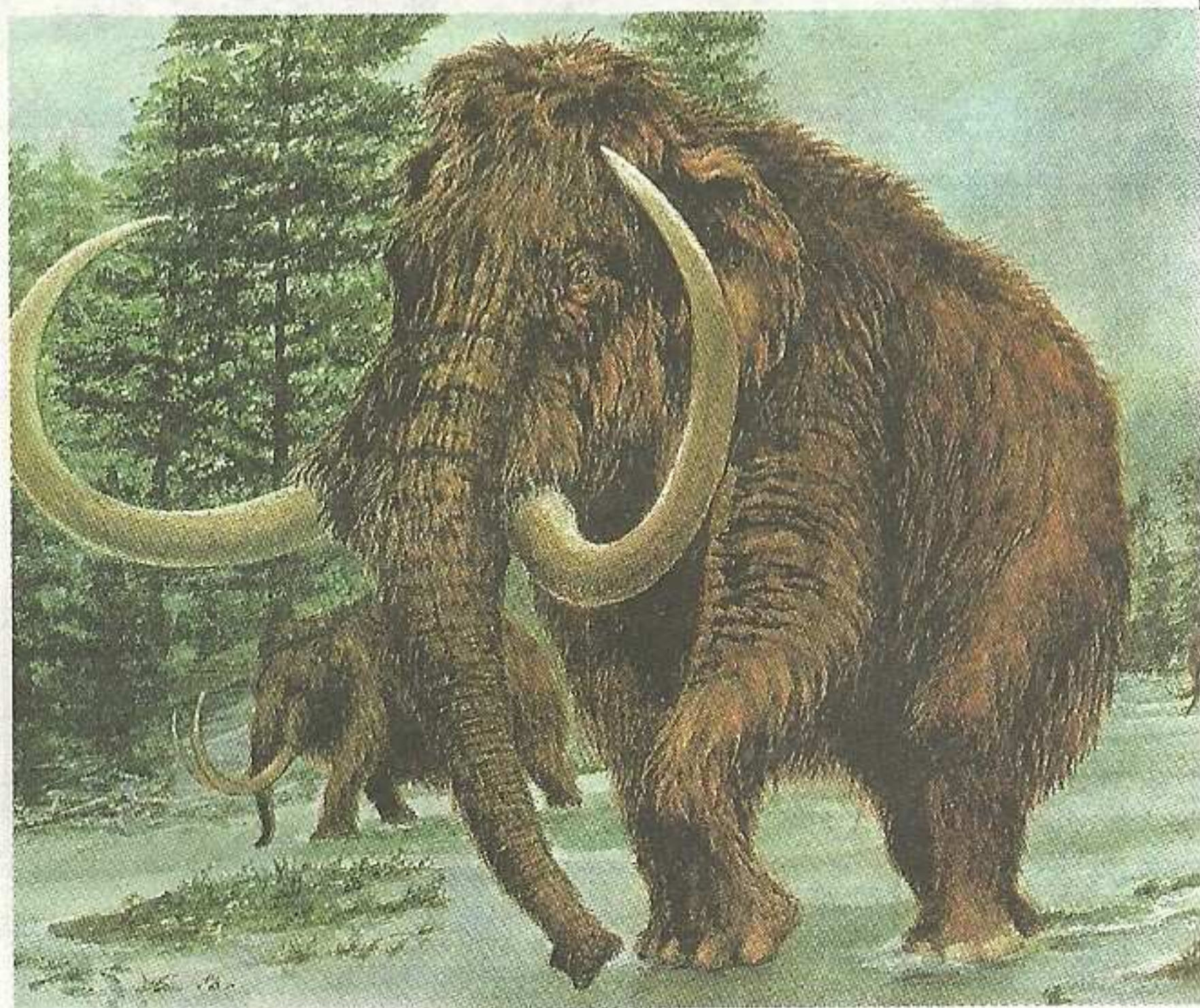


Рис. 143. Животный мир кайнозойской эры

щей продолжительностью 65 млн лет, и антропогеновый, который начался 2 млн лет назад.

Уже в *палеогене* господствующее положение заняли млекопитающие и птицы. В течение этого периода формируется большинство современных отрядов млекопитающих, появляются первые примитивные приматы. На суше господствуют покрытосеменные растения (тропические леса), параллельно с их эволюцией идет развитие и увеличение многообразия насекомых.

В *неогене* климат становится более сухой, образуются степи, широко распространяются однодольные травянистые растения. Отступление лесов способствует появлению первых человекообразных обезьян. Формируются виды растений и животных, близкие к современным.

Последний *антропогеновый период* характеризуется похолоданием климата. Четыре гигантских оледенения привели к появлению млекопитающих, приспособленных к суровому климату (мамонты, шерстистые носороги, овцебыки) (рис. 143). Возникли сухопутные «мосты» между Азией и Северной Америкой, Европой и Британскими островами, что способствовало широкому расселению видов, в том числе и человека. Примерно 35—40 тыс. лет назад, перед последним оледенением, по перешейку на месте нынешнего Берингова пролива люди достигли Северной Америки. В конце периода началось глобальное потепление, вымерли многие виды растений и крупных млекопитающих, сформировались современные флора и фауна. Крупнейшим событием антропогена стало появление человека, чья деятельность стала ведущим фактором дальнейших изменений в животном и растительном мире Земли.

Вопросы для повторения и задания

1. По какому принципу историю Земли делят на эры и периоды?
2. Когда возникли первые живые организмы?
3. Какими организмами был представлен живой мир в криптозое (докембрии)?
4. Почему в пермский период палеозойской эры вымерло большое количество видов амфибий?
5. В каком направлении шла эволюция растений на суше?
6. Охарактеризуйте эволюцию животных в палеозойскую эру.
7. Расскажите об особенностях эволюции в мезозойскую эру.
8. Какое влияние оказывали обширные оледенения на развитие растений и животных в кайнозойскую эру?
9. Как вы можете объяснить сходство фауны и флоры Евразии и Северной Америки?

4.17. Гипотезы происхождения человека

Вспомните!

Какие вам известны гипотезы происхождения человека?

Проблема *антропогенеза* (исторического развития человека) относится к числу сложнейших философских и естественнонаучных проблем. Вопрос о происхождении человека всегда привлекал к себе внимание людей. Еще в древние времена наши далекие предки, выбирая себе тотемы — священных животных, почитали их как своих прародителей и гордились ими. У многих племен Африки существуют предания о происхождении человека от обезьян.

Зачатки научных знаний о человеке возникли в недрах античной философии. Философ Анаксимандр (610—546 до н. э.), пытаясь познать происхождение и развитие живой природы, выдвигал идеи о возникновении человека путем последовательных превращений животных. Зачатки эволюционных взглядов можно найти в сочинениях Демокрита и Эмпедокла. Сократ (469—399 до н. э.) высказывал мысль, что человек занимает столь высокое положение в мире, потому что он имеет очень развитую кисть руки. Афинский учитель красноречия Исократ считал, что человек стал человеком благодаря речи.

Огромное значение для развития идей о происхождении человека имели путешествия Геродота (484—406 до н. э.). Его труды, дошедшие до нашего времени, — это ценнейший источник изучения древних народов. Свидетельства Геродота дополняют данные палеоантропологии и позволяют составить представление о распространении людей до эпохи Великих переселений.

Древнегреческий мыслитель Аристотель, разделяя животных на бескровных и имеющих кровь, относил человека ко второй группе и ставил его рядом с обезьянами. Однако он разошелся во мнении с Сократом, оценивая роль руки в происхождении человека. Аристотель писал: «Человек — разумнейшее животное не потому, что имеет руки; а потому и имеет руки, что он разумнейшее существо».

Основоположник анатомии, известный древнеримский врач К. Гален изучал анатомию человека, вскрывая других млекопитающих, в том числе обезьян. К. Линней, будучи креационистом, в своей классификации живых организмов поместил человека в один отряд с приматами,

потому что считал их очень схожими по строению. В эпоху господства христианства это был очень смелый шаг, не случайно труд Линнея на долгое время был запрещен Ватиканом. Разрабатывая бинарную номенклатуру, Линней выделил вид *Homo sapiens* (Человек разумный) и разделил его на четыре расы.

Известный философ И. Кант в конце XVIII в. писал о возможной эволюции природы, которая могла бы превратить человекообразную обезьяну в человека, снабдив ее хватательной рукой и двуногим передвижением. Но при этом Кант считал обязательным условием такой эволюции наличие некой божественной «сверхидеи». Примерно в то же время Дж. Монбоддо попытался объяснить превращение обезьяны в человека действием труда. Однако, будучи сторонником идеи неизменности видов, Монбоддо считал человекообразных обезьян и людей представителями одного вида.

В России убежденным сторонником идей о родстве человека с животными был известный писатель и философ А. Н. Радищев (1749—1802). В своем трактате «О человеке, о его смертности и бессмертии», написанном в конце XVIII в., Радищев говорит: «Человек — единоутробный сродственник, брат всему на Земле живущему, не только зверю, птице, рыбе, насекомому... но и растению, грибу, мху... Паче всего сходственность человека примечательна с животными... Все органы, коими одарен человек, имеют и животные...» Но Радищев также подчеркивал и отличия человека, которые, по его мнению, в основном заключались в строении руки и большого пальца. Однако Радищев не распространял идею развития на бессмертную душу.

Вплотную подошел к пониманию эволюционных процессов в антропогенезе Афанасий Каверзнев, который в 1775 г., почти за сто лет до работ Ч. Дарвина, опубликовал на немецком языке в Лейпциге труд «О перерождении животных», в котором подробно развивал идею о родстве человека и обезьян.

Очень оригинального взгляда на происхождение человека придерживался Ж. Б. Робине, который считал, что животные представляют собой неудачные попытки природы сотворить наиболее совершенную форму жизни — человека.

Создатель первой эволюционной теории Ж. Б. Ламарк в начале XIX в. изложил свою теорию происхождения человека. Он говорил, что некий «четверорукий» предок человека «утратил привычку» лазить по деревьям, но приобрел другую — передвигаться на двух ногах. Будучи

сторонником идеи об упражнении и неупражнении органов (§ 4.2), Ламарк утверждал, что новые потребности предка человека рождали усилия, которые изменяли строение органов и частей тела будущего человека, а жизнь в многочисленных стаях требовала более совершенных средств общения.

Крупнейшим событием в истории развития взглядов на происхождение человека стало появление трудов Ч. Дарвина «Происхождение человека и половой отбор» (1871) и «О выражении эмоций у человека и животных» (1872). Дарвин был уверен, что законы развития органического мира применимы и к человеку. Ученый поставил задачу: доказать, что основные движущие силы эволюции, действуя на предков человека, вызывали у них возникновение адаптаций к условиям окружающей среды. Сравнивая строение тела человека и высших обезьян, особенности зародышевого развития и изучая рудиментарные органы, Дарвин доказывал происхождение человека от низших форм. Он придавал большое значение естественному отбору не только по морфофизиологическим признакам, но и по умственным и нравственным качествам. Прародиной человечества Дарвин считал Древнюю Африку. Однако в своей теории великий натуралист не затронул проблему социальной сущности человека и не оценил роль труда как фактора эволюции.

Огромное значение труда в происхождении человека было обосновано философом Ф. Энгельсом в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека». Кроме труда Энгельс обратил внимание на другие факторы антропогенеза: речь и общественный образ жизни.

Современная теория происхождения человека опирается в основном на данные сравнительной анатомии, физиологии и эмбриологии, а также на результаты исследования ископаемых остатков. Одним из ее важнейших положений является признание параллельности эволюции высшей нервной деятельности и морфологических признаков.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие идеи о возникновении человека существовали в Древнем мире?
2. Что вам известно о взглядах российских ученых XVIII—XIX вв. на проблему происхождения человека?
3. Кто впервые разделил вид *Homo sapiens* (Человек разумный) на расы?

4. Какова роль трудов Ч. Дарвина в истории развития взглядов на происхождение человека?
5. Какому фактору в эволюции человечества придавал особое значение Ф. Энгельс?

4.18. Положение человека в системе животного мира

Вспомните!

Назовите общие признаки представителей типа Хордовые; класса Млекопитающие.

Данные сравнительной эмбриологии и анатомии человека и других животных позволяют четко определить, что по критериям зоологической систематики вид *Homo sapiens* (Человек разумный) относится к царству Животные, подцарству Многоклеточные, типу Хордовые, подтипу Позвоночные, классу Млекопитающие, отряду Приматы, семейству Гоминиды (рис. 144).



Рис. 144. Систематическое положение человека в отряде приматов

Рассмотрим те свойства и признаки, на основании которых мы занимаем это положение в системе органического мира.

Данные сравнительной анатомии. Вряд ли кто-то будет оспаривать нашу принадлежность к определенному царству и подцарству. Мы двусторонне-симметричные многоклеточные животные и по этим признакам подобны всем червям, членистоногим и хордовым.

Для человека, как и для всех представителей *типа Хордовые*, характерны общие черты организации, не встречающиеся у других типов.

У зародыша человека есть нерасчлененный на сегменты внутренний осевой скелет — хорда. Наши нервная и пищеварительная системы закладываются в виде двух трубок, лежащих с разных сторон от хорды. На ранней эмбриональной стадии развития передний отдел пищеварительной системы человека — глотка — пронизан жаберными щелями, которые в дальнейшем исчезают, причем одна из них дает начало слуховому проходу и евстахиевой трубе. Кровеносная система человека замкнутая, и сердце находится на брюшной стороне тела.

Тип хордовых делят на три подтипа, а подтип позвоночных, в свою очередь, объединяет шесть классов. Перечислим признаки, которые роднят нас с другими представителями *класса Млекопитающие*: костный позвоночник, замещающий хорду; семь шейных позвонков; две пары конечностей рычажного типа; наличие костного мозга (у птиц кости полые); волосяной покров; потовые и сальные железы кожи; молочные железы; хорошо развитые губы и мускулистые щеки; диафрагма; три слуховые косточки среднего уха (у птиц и рептилий — одна); ушная раковина; четырехкамерное сердце, два круга кровообращения и одна левая дуга аорты; безъядерные эритроциты (у всех остальных классов позвоночных — ядерные); альвеолярные легкие. Кроме этих морфологических признаков следует отметить, что для всех млекопитающих, и в том числе человека, характерны такие прогрессивные черты организации, как высокое развитие центральной нервной системы, особенно коры больших полушарий; многообразные приспособительные реакции и сложное поведение; интенсивный обмен веществ и совершенная терморегуляция. Внутриутробное развитие и питание зародыша через плаценту характеризует нас как представителей *подкласса Плацентарные*. Необходимо отметить, что все перечисленные морфологические признаки, общие для человека и остальных млекопитающих, являются гомологичными, т. е. имеют одинаковое происхождение.

Общими признаками человека и остальных представителей *отряда Приматы* являются следующие: конечность хватательного типа (первый палец кисти противопоставлен остальным); наличие ключицы, что обеспечивает высокую подвижность руки; расширенные конечные фаланги пальцев с ногтями; зубы трех типов — резцы, клыки, коренные; высокое развитие полушарий головного мозга; размножение в течение всего года; наличие одной пары молочных желез; рождение обычно одного детеныша и длительный уход за ним; сложная организация отношений между особями и высокий уровень развития высшей нервной деятельности.

О родстве человека с животными свидетельствуют также многочисленные рудименты и атавизмы, которые известны практически для всех систем органов. Рудименты — это недоразвитые органы, которые практически утратили в процессе эволюции свои функции. Их наличие указывает на родство человека с более низкоорганизованными позвоночными животными. Примерами таких рудиментов являются мышцы ушной раковины, хвостовые позвонки (копчик), остатки мигательной перепонки глаза, червеобразный отросток слепой кишки. Атавизмы — это признаки, которые некогда существовали у наших предков, в дальнейшем были утрачены, но гены, отвечающие за их развитие, еще сохраняются и при определенных условиях вызывают образование этих древних признаков. Яркими примерами атавизмов являются волосной покров на лице, наружный хвост, лишние пары молочных желез, перепонки между пальцами (рис. 145).

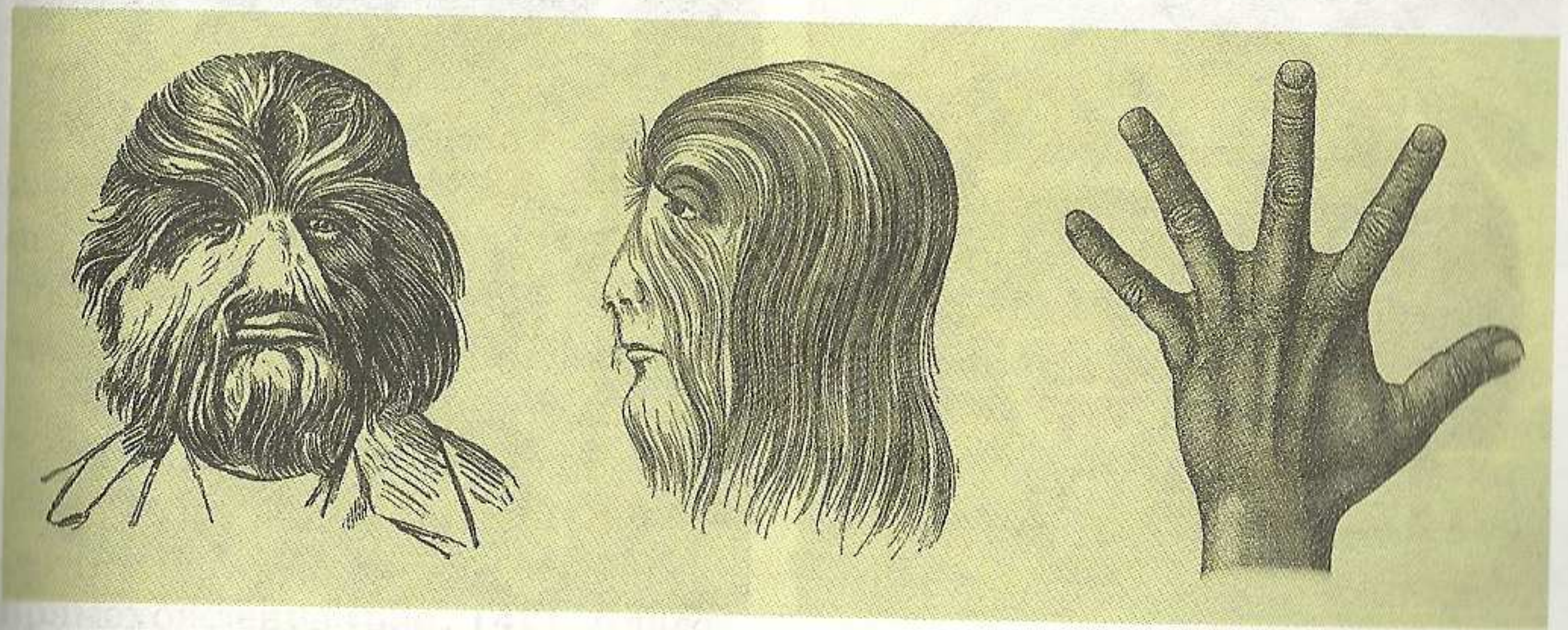


Рис. 145. Атавизмы человека

Данные сравнительной эмбриологии. Кроме данных сравнительной анатомии весомыми доказательствами происхождения человека от животных являются результаты сравнительного изучения онтогенеза человека и животных.

Индивидуальное развитие человека, как и остальных животных, размножающихся половым путем, начинается с образования зиготы. В двухнедельном возрасте у эмбриона человека прослеживаются признаки рыбообразных предков: двухкамерное сердце, жаберные щели, хвостовая артерия. Позже в строении эмбриона можно наблюдать черты, унаследованные от земноводных: мигательная перепонка во внут-

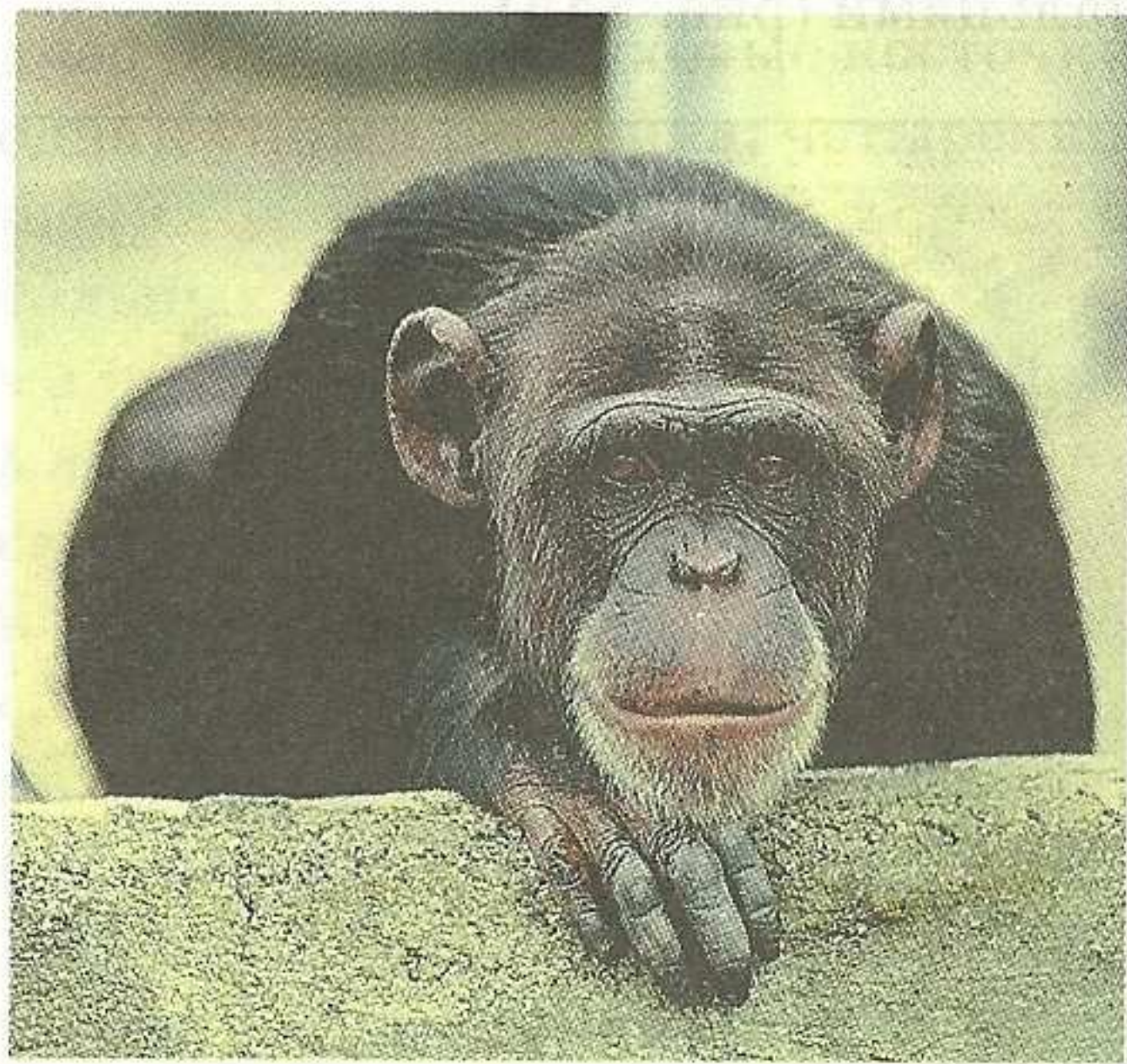
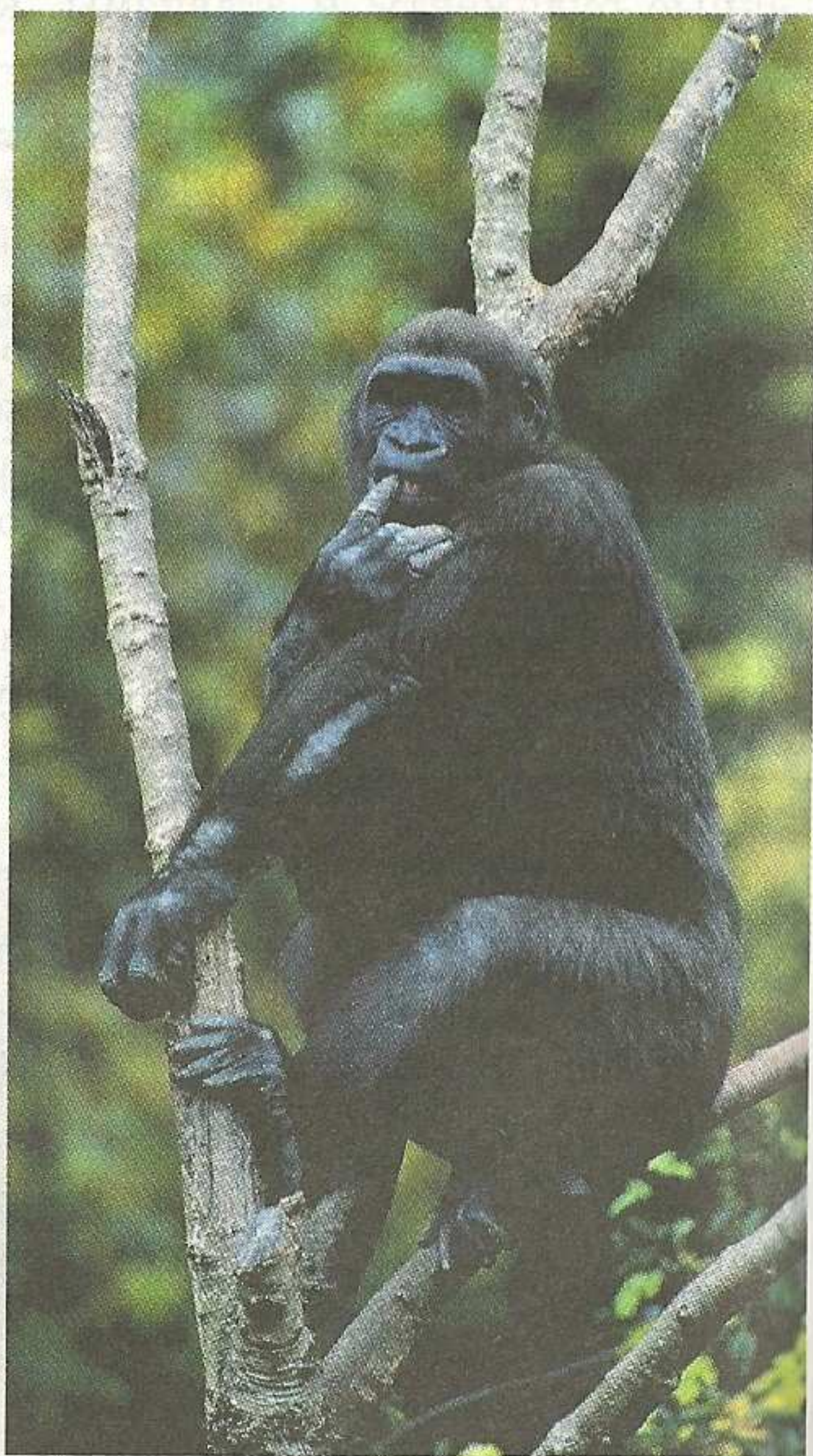


Рис. 146. Человекообразные обезьяны

реннем углу глаза, плавательные перепонки между пальцами. У шестинедельного зародыша есть несколько пар молочных желез, закладывается хвостовой отдел позвоночника, который затем редуцируется и превращается в копчик. Гладкая поверхность больших полушарий и сплошной волосяной покров у плода человека указывают на родство с примитивными млекопитающими. Таким образом, основные черты эмбрионального развития человека четко определяют его животное происхождение.

Сходство и отличия человека и человекообразных обезьян. С человекообразными обезьянами люди имеют много общих признаков, например таких, как большая величина тела, отсутствие хвоста и защечных мешков, хорошее развитие мимической мускулатуры и сходная структура черепа (рис. 146). Шимпанзе, гориллы, орангутаны имеют хорошо развитый головной мозг, особенно его лобные доли, большое число извилин в коре больших полушарий. Кроме морфологических признаков о нашем близком родстве свидетельствуют и другие данные: мы похожи по резус-фактору и группам крови (AB0), мы болеем одними и теми же «человеческими» болезнями. Беременность и гориллы, и человека составляет около 280 дней.

Эволюционное родство организмов можно определить, сравнивая их хромосомы. Чем больше сходство между нуклеотидными последовательностями ДНК, тем ближе родство между видами. Человек и шимпанзе имеют более 95% схожих генов.

У человекообразных обезьян, как и у людей, высокий уровень развития высшей нервной деятельности, они легко обучаются, у них прекрасная память и богатая эмоциональная жизнь.

В то же время между человеком и высшими приматами существуют коренные отличия. Только человеку свойственно настоящее прямохождение (рис. 147). Благодаря этому человек имеет длин-

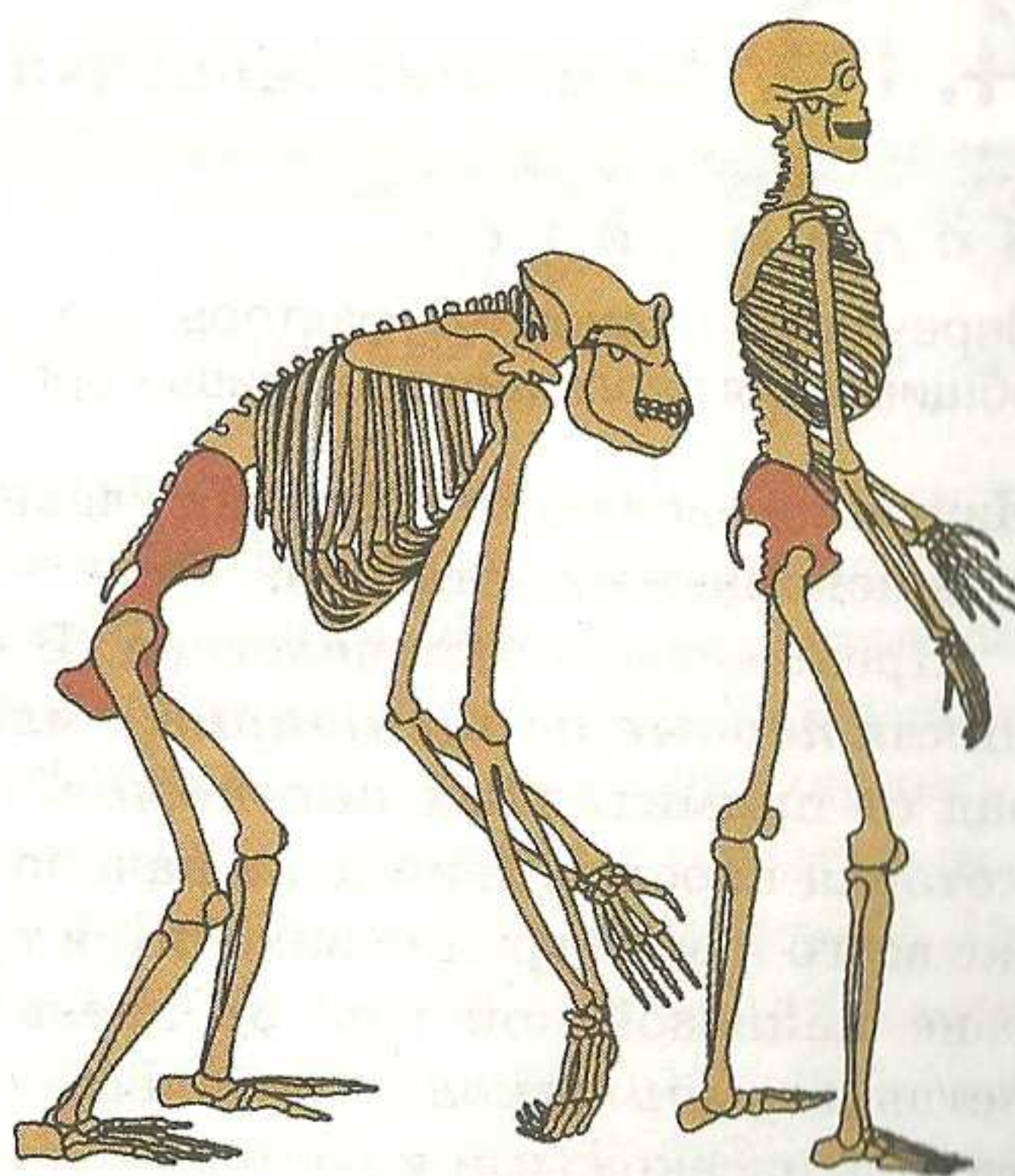


Рис. 147. Скелеты обезьяны и человека

ные и мощные ноги, сводчатую стопу, широкий таз, S-образный позвоночник. Гибкая кисть и подвижные пальцы обеспечивают точные и разнообразные движения.

Человек имеет очень сложно устроенный головной мозг, средний объем которого составляет 1350 см^3 (у гориллы 400 см^3). Благодаря развитию структур гортани человек способен к членораздельной речи.

Человек — это биосоциальное существо, занимающее высокую степень эволюционного развития, обладающее сознанием, речью, абстрактным мышлением и способное к общественному труду.

Вопросы для повторения и задания

1. Охарактеризуйте систематическое положение человека в животном мире.
2. Укажите признаки человека как представителя класса млекопитающих.
3. Какие признаки являются общими для человека и человекообразных обезьян?
4. Перечислите особенности строения, присущие только человеку.
5. Какое значение в антропогенезе имело увеличение объема мозга?

4.19. Эволюция человека

Вспомните!

Перечислите основные факторы эволюции человека. Какие из них являются общими для эволюции всех живых организмов?

Изучение эволюции человека главным образом основано на исследовании ископаемых остатков.

Предшественники человека. В самом конце мезозойской эры возникли *первые плацентарные* млекопитающие. Около 35 млн лет назад от примитивных *насекомоядных* отделилась группа животных, которая впоследствии дала начало приматам. Из ныне живущих ближе всего к этой группе находятся тупайи — низшие приматы. В палеогене кайнозойской эры от предков современных тупай отделилась ветвь *парапитеков* — небольших древесных животных, которые питались насекомыми и растениями. Их зубы и челюсти были такие же, как у человекообразных обезьян. От парапитеков произошли гиббоны, орангутаны и *дриопитеки*. В течение почти 10 млн лет дриопитеки

обитали в тропических лесах. За это время они хорошо приспособились к древесному образу жизни, требующему развития вполне определенных свойств и признаков. Для того чтобы лазать по деревьям с помощью хватательных движений, надо было иметь подвижные конечности и кисть, способную к точному захвату. Ключица, которая обеспечивает свободное движение в плечевом суставе и позволяет разводить руки в стороны, не развивается у наземных животных, передвигающихся на четырех конечностях.

Нашим далеким предкам приходилось с большой скоростью перемещаться в пространстве тропического леса, постоянно оценивая силу прыжка, дальность полета, меняя направление движения. Преимущество получали те особи, которые обладали лучшими двигательными навыками. Это направление отбора способствовало развитию двигательных отделов головного мозга. Для древесного образа жизни требовалось острое бинокулярное зрение, которое бы позволяло точно оценивать расстояние при прыжках. Если у первых примитивных млекопитающих глаза находились по бокам головы, то у дриопитеков они уже располагались фронтально, в одной плоскости. В густых зарослях в первую очередь надо было полагаться на зрение и слух, обоняние было важно для животных открытых пространств. Жизнь на деревьях способствовала уменьшению плодовитости, что компенсировалось повышенной заботой о малочисленном потомстве.

Особенности строения современного человека, его способности и социальный статус были predeterminedены миллионы лет назад тем, что нашими далекими предками являлись животные, которые вели древесный образ жизни.

Во второй половине палеогена наступило похолодание. Площади лесов сокращались, их вытесняли саванны. Вероятно, популяции дриопитеков расселились по разным местообитаниям. Животные, оставшиеся в тропических лесах, дали начало современным человекообразным обезьянам — горилле и шимпанзе. Другие популяции переселились в саванны. Для того чтобы ориентироваться на огромных открытых пространствах, необходимо было подниматься на задние конечности. Наши далекие предки не имели острых клыков и когтей, не умели быстро бегать. Новые суровые условия заставляли их вести тяжелую борьбу за существование. Выживали те, кто, собираясь в стаи, объединяли свои силы и использовали освободившиеся руки для манипуляции с предметами, добывания пищи, защиты и нападения, ухода за детенышами.

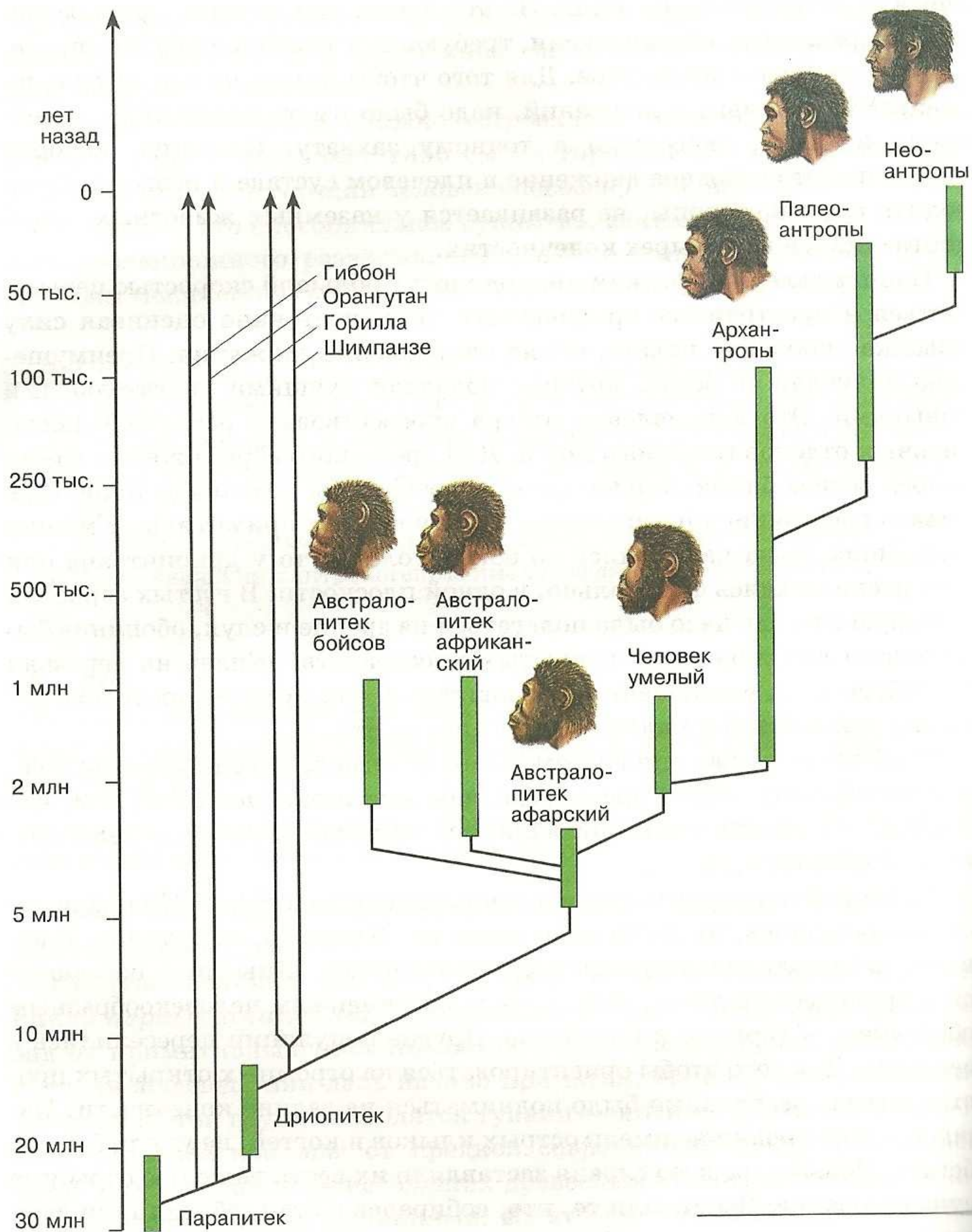


Рис. 148. Общая схема происхождения человека

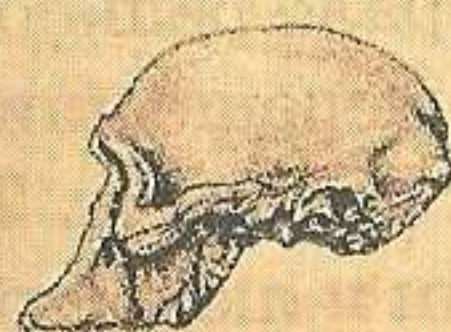
Прямохождение сыграло решающую роль в эволюции человека. Популяции дриопитеков, перешедшие к наземному образу жизни, положили начало эволюции человека. Таким образом, в палеогене пути человекообразных обезьян и людей разошлись (рис. 148).

Австралопитеки. 5—3 млн лет назад в Южной Африке жили австралопитеки, потомки дриопитеков. Они имели рост 120—160 см, массу 30—60 кг, объем их мозга не превышал 550 см³. Австралопитеки вели стадный образ жизни, занимались собирательством и охотой, используя в качестве оружия камни. Мясо составляло большую часть их рациона. В настоящее время известно, что для нормального развития головного мозга необходимы животные белки. Возможно, меню наших далеких предков сыграло немаловажную роль в развитии центральной нервной системы.

Человек умелый. Около 2,5—1,5 млн лет назад по Южной и Восточной Африке расселились существа, которые умели изготавливать простейшие орудия труда и имели более прогрессивное строение, чем австралопитеки. Объем их мозга достигал 650 см³, а особенности его строения, по мнению современных ученых, позволяют предположить, что у этих людей уже существовали зачатки примитивной речи (рис. 149). По-видимому, человек умелый (*Homo habilis*) был потомком какой-то группы австралопитеков. Дальнейшая эволюция на этом этапе шла в направлении развития прямохождения и способности к труду. Человек умелый впервые начал использовать огонь и сооружать примитивные жилища и хозяйственные стоянки.

Древнейшие люди (архантропы). Древнейшие люди жили в интервале 1,8—0,1 млн лет назад. Известно несколько ископаемых форм архантропов: питекантроп, синантроп, гейдельбергский человек, которых сейчас относят к одному виду — Человек прямоходящий (*Homo erectus*). Архантропы отличались от современных людей более крупными челюстями, мощными затылочным и надбровным валиками, низким и покатым лбом и отсутствием подбородочного выступа. Объем их мозга составлял 800—1100 см³, что вполне достаточно для развития речи. Они успешно охотились на носорогов и оленей, изготавливали каменные орудия, использовали огонь, строили простые наземные конструкции типа шалашей и обустроивали пещеры.

Для дальнейшего развития человека огромное значение имело овладение членораздельной речью. В процессе эволюции речь впервые появилась для выражения различных эмоциональных состояний, но в



Австралопитеки

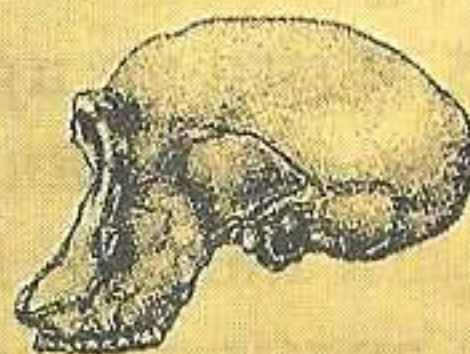
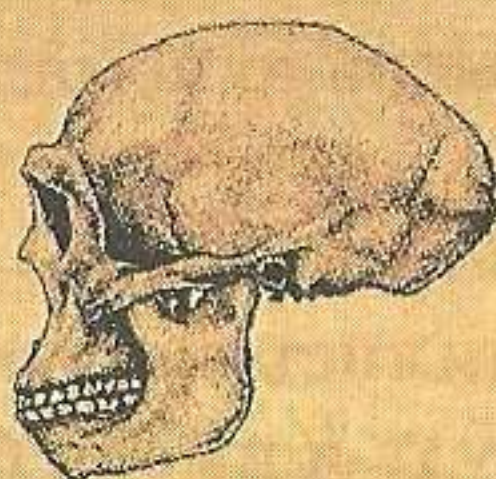
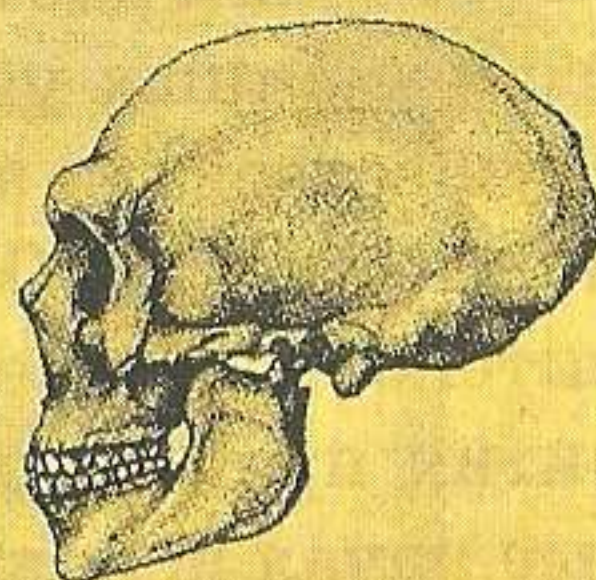
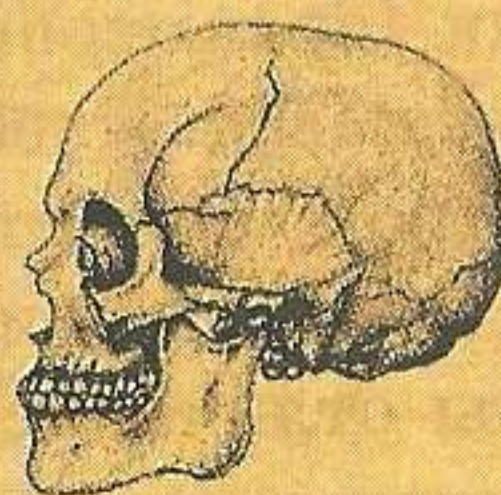
Человек умелый
(Homo habilis)Архантропы
(Homo erectus)Палеоантропы
(неандертальцы)Неоантропы
(Homo sapiens)

Рис. 149. Эволюция черепа. Скелет подростка, найденный в Кении в 1983 г., имеет древность 1,6 млн лет и относится к виду, возникшему в среде популяций Человека умелого (Homo habilis)

дальнейшем, когда слова стали знаками для обозначения предметов и действий, а позднее и абстрактных понятий, речь начала выполнять еще одну очень важную задачу. Предки человека вели общественный образ жизни, и речь была необходима для обмена информацией. С помощью речи родители могли обучать детей, т. е. появилась возможность передавать опыт из поколения в поколение. Преимущество в борьбе за су-

ществование начали получать те группы древних людей, которые поддерживали не только физически сильных особей, но и сохраняли стариков, как носителей знаний. К биологическим факторам эволюции постепенно присоединялись социальные.

Древние люди (палеоантропы, неандертальцы). Палеоантропы занимали промежуточное положение между архантропами и Человеком разумным. Они широко расселились на территории Африки, Европы и Азии в период от 250 до 35 тыс. лет назад. Это была очень неоднородная группа, в которой четко выделялись две линии эволюции. Одна линия шла в направлении мощного физического развития: небольшой рост (155—165 см), мощная мускулатура, низкий скошенный лоб, толстые кости черепа, хорошо развитые челюсти.

Другая группа в физическом развитии значительно уступала первой, но имела преимущество в развитии головного мозга. В суровых условиях ледникового периода выживали любой ценой, но, как оказалось в дальнейшем, успеху в борьбе за жизнь способствовала совместная трудовая деятельность, коллективная охота, накопление и передача опыта, забота о соплеменниках — тот путь, по которому пошла вторая линия древних людей, давшая начало формированию нового вида — Человек разумный (*Homo sapiens*).

Современные люди (неоантропы). Неоантропы возникли около 50—40 тыс. лет назад. Некоторое время они существовали совместно с палеоантропами, но затем неандертальцы были полностью вытеснены первыми современными людьми — *кроманьонцами*. Внешне похожие на современного человека и владеющие речью, кроманьонцы изготавливали сложные костяные и каменные орудия, строили жилища и добывали огонь. Охота с применением совершенных орудий была очень эффективной, кроманьонцы широко использовали загонные методы. Развивалось искусство: настенная живопись в пещерах, орнаменты на костяных поделках, каменная и костяная скульптура. Возникали ритуалы захоронений и культовые объекты, что говорит о зарождении религиозных верований. Большинство специалистов считает, что с появлением кроманьонцев эволюция человека вышла из-под ведущего контроля биологических факторов и приобрела черты социального характера.

После завершения формирования вид *Homo sapiens* сохраняет свою биологическую стабильность уже на протяжении десятков тысяч лет. Это объясняется тем, что в процессе социального развития (строительство жилищ, использование одежды, ведение сельского хозяйства) под-

держивается относительное постоянство условий существования человечества.

Долгое время ученые считали, что эволюция человека была более-менее линейной: одна форма сменяла другую, и каждая новая была прогрессивнее, ближе к современному человеку, чем предыдущая. Сейчас ясно, что все было гораздо сложнее. Эволюционное древо гоминид весьма разветвленное. Временные интервалы существования многих видов сильно перекрываются. Иногда несколько разных видов гоминид, находящихся на разных «уровнях» близости к современному человеку, сосуществовали в одно и то же время.

Скорее всего, известные сегодня ископаемые гоминиды — лишь малая часть их подлинного разнообразия. Палеонтологическая летопись гоминид еще крайне неполна.

Вопросы для повторения и задания

1. Что является источником информации для исследования антропогенеза?
2. От какой группы млекопитающих произошел отряд приматов?
3. Как черты строения и образ жизни обезьяноподобных предков предопределили развитие признаков вида Человек разумный.
4. Охарактеризуйте прогрессивные черты в развитии древнейших людей.
5. Какое значение в эволюции человека имело овладение членораздельной речью?
6. Когда появились современные люди (неоантропы)?

4.20. Человеческие расы

Вспомните!

Какие расы человека вы знаете?
Что такое нация?

Все современное человечество принадлежит к одному виду *Homo sapiens* (Человек разумный), внутри которого существуют крупные систематические подразделения — *расы*. Каждую расу характеризует совокупность наследственно обусловленных признаков, таких, как цвет кожи, волос, глаз, форма носа и губ, рост, особенности строения черепа и др. Не все морфологические признаки человека являются расовыми,



Рис. 150. Представители монголоидной, экваториальной и европеоидной рас

например развитие мускулатуры и жировотложения часто зависят от индивидуальных особенностей.

Большие расы. Обычно выделяют три *большие расы*: евразийскую (европеоидную), азиатско-американскую (монголоидную) и австрало-негроидную (экваториальную) (рис. 150). Большие расы разделяют на расы второго и третьего порядка, так называемые *малые расы*. Иногда австралоидов и американских индейцев выделяют в отдельные большие расы.

Европеоидная раса. Представители этой расы в основном светлокожие, имеют мягкие прямые или волнистые, часто светлые волосы. У большинства европеоидов тонкие губы, неширокий выступающий нос, как правило, сильно выступающий подбородок. У мужчин обычно хорошо растут борода и усы. Внутри европеоидной расы существует очень большая изменчивость по цвету волос и глаз, поэтому эту большую расу делят на три крупные части: светлоокрашенную северную, темноокрашенную южную и среднеевропейскую с промежуточным типом пигментации. Сейчас европеоиды обитают на всех материках, но изначально они сформировались в Европе и Передней Азии.

Монголоидная раса. У типичных представителей этой расы кожа смуглая, желтоватых оттенков, глаза темно-карие, волосы жесткие, прямые, темные. У мужчин волосяной покров на теле развит очень слабо, борода и усы, как правило, не растут. Лицо довольно плоское, скулы широкие, подбородок мало выдается вперед. Для большинства монголоидов очень характерна сильно развитая и своеобразно располо-

женная складка верхнего века (эпикантус), которая прикрывает внутренний угол глаза, обуславливая тем самым несколько косое положение глазной щели. В настоящее время эта раса преобладает в Азии.

Экваториальная раса. Характерными чертами негроидов являются черные курчавые волосы, очень темная кожа и карие глаза. Борода и усы, как и у монголоидов, обычно растут слабо. Нос довольно плоский, мало выступающий, с широкими крыльями. У большинства представителей толстые губы и выступающий вперед челюстной отдел черепа. Наиболее ярко признаки этой расы выражены у суданских негров.

Раса и нация. Расы — это биологические образования, но существуют сообщества человека, основанные на других принципах, которым люди часто придают большее значение. Необходимо четко различать понятия «раса» и «нация». Национальные различия формируются на основе хозяйственных, политических, религиозных и других факторов. Для нации важно самосознание и культурное наследие, а не генетическое наследование, как для расы. Понятия расы и нации не совпадают, поэтому категорически нельзя употреблять такие сочетания, как «японская раса», «французская раса», «польская раса» и т. д.

Точно так же не существует связи между расой и языковой общностью. Например, народы, говорящие на тюркских языках, относятся и к европеоидам (турки и азербайджанцы), и к монголоидам (якуты), и к смешанным расовым типам (узбеки, туркмены). Для человека любой расы родным языком будет тот, в среде которого он вырос.

Происхождение рас. Среди ученых не существует единого мнения о времени формирования современных рас. Известно, что уже среди неантропов существовало большое разнообразие физических типов. Около 40 тыс. лет назад началось стремительное расселение неантропов по земному шару. Видимо, в результате этих миграций отдельные популяции людей оказывались в разных природно-климатических условиях. Географическая изоляция способствовала закреплению в популяциях тех признаков, которые имели приспособительное значение и позволяли популяции максимально адаптироваться к местным условиям.

Темная кожа негроидов, например, поглощает ультрафиолетовые лучи, поэтому хорошо защищает от лучей тропического солнца. Курчавые волосы образуют вокруг головы воздушную прослойку, защищающую от перегрева. Узкая глазная щель и эпикантус предохраняют глаза монголоидов от пыли, переносимой ветром в степях, или от снежной пурги и ярких лучей, отраженных от заснеженных пространств, на севере. Светлая кожа европеоидов в результате воздействия ультрафиоле-

товых лучей образует витамин D, тем самым предохраняя организм от рахита, а крупный размер носа жителей высокогорных районов имеет важное значение при дыхании холодным разреженным воздухом.

С течением времени интенсивность действия биологических факторов эволюции снижалась, формировались социальные взаимоотношения, и ни одна из рас не достигла в своем развитии уровня вида. По мере развития общества расовые признаки потеряли свое адаптивное значение, например отличия в терморегуляции у представителей негроидной и европеоидной рас становятся незначимыми, если человек живет в доме, носит одежду, пользуется кондиционерами и обогревателями. Для современного человека определяющим является не цвет кожи и форма глаз, а способность реализовать себя как личность, возможность развить и проявить свои интеллектуальные качества.

Видовое единство человечества. Все расы человека равноценны в биологическом и психологическом отношениях. Признаки, которыми мы отличаемся друг от друга, не носят принципиального видового значения и не представляют биологическую ценность для существования человека в какой бы то ни было среде. Поэтому с биологической точки зрения эти различия ни в коем случае не позволяют говорить об общем превосходстве или неполноценности той или иной расы.

В составе любой человеческой расы можно найти более типичных и менее типичных ее представителей. Так как абсолютно идентичных людей в человеческой популяции не существует, утверждение о так называемых «чистых расах» не имеет оснований. Точно так же не имеют смысла рассуждения о «низших» и «высших» расах, потому что при равных условиях представители любой расы способны достичь одинаковых успехов. Еще Николай Николаевич Миклухо-Маклай доказал, что в строении мозга папуасов Новой Гвинеи, австралийских аборигенов и европейцев нет никаких принципиальных различий.

Исчезновение классовых и религиозных барьеров, свобода перемещения людей в пределах всего земного шара увеличивают количество смешанных браков, что приводит к смешению расовых признаков и возрастанию генетического разнообразия человечества. Например, в нашей стране сейчас более 45 млн человек относится к переходному европеоидно-монголоидному типу. Смешение рас говорит о видовом единстве человечества. Видовая общность человечества является одним из доказательств единства происхождения человеческих рас, так как в случае происхождения от разных видов животных человеческие расы в настоящее время были бы, по меньшей мере, разными видами.

Большое генетическое разнообразие человечества — залог процветания и гарантия его дальнейшего прогресса. Именно разнообразие генофондов обеспечивает выживание сообществ, а социальная эволюция создает оптимальные возможности для раскрытия индивидуальных способностей каждого человека.

Известные исследователи А. Жакар и Р. Уорд писали: «...сила нашего вида не столько в благоприятных аллелях, одаренных индивидуумах или специфических достижениях общественных систем, а в разнообразии людей и их генов. ...Необходимо убедить каждого человека и каждую группу, что другой человек богат в той степени, в какой он отличается от них...»

Вопросы для повторения и задания

1. Какие большие расы выделяют внутри вида Человек разумный?
2. Какие механизмы лежат в основе формирования человеческих рас?
3. Приведите доказательства единства происхождения человеческих рас.
4. Почему в процессе эволюции ни одна из рас не достигла в своем развитии уровня вида?
5. В чем заключаются отличия расы и нации?

Вопросы для обсуждения

Глава

«ВИД»

«История эволюционных идей»

1. Почему в начале XIX в. идеи эволюции органического мира не были приняты ни наукой, ни обществом?
2. Почему именно в XIX в. стало возможно создание и обоснование эволюционного учения?
3. Охарактеризуйте и сравните креационизм и трансформизм.
4. Как вы считаете, почему главный труд К. Линнея назывался «Система природы», а Ж. Б. Ламарка — «Философия зоологии»?

«Современное эволюционное учение»

1. Приведите примеры популяций растений и животных, которые вы встречали в природе. От чего зависит численность особей в этих популяциях?

2. Почему так важно сохранять генофонды ныне существующих видов растений и животных? Какие меры следует предпринять для этого?
3. Какова роль человека в миграциях животных?
4. Почему дрейф генов играет особо важную роль в эволюции малочисленных групп организмов?
5. Почему в природе чаще встречаются гибриды различных видов растений, чем различных видов животных?
6. Приведите известные вам примеры различных форм борьбы за существование в природе.
7. Докажите, что виды действительно реально существуют в природе.
8. Почему даже длительное воздействие стабилизирующего отбора не приводит к полному фенотипическому единообразию в популяции?
9. Почему один вид от другого можно отличить только по совокупности разнообразных критериев? Какие критерии вам кажутся наиболее важными?
10. Приведите примеры видов, находящихся на пути биологического прогресса; биологического регресса.
11. Приведите доказательства необратимости эволюционного процесса.
12. Как вы считаете, от чего зависит скорость эволюции белков?
13. Может ли упрощение строения способствовать биологическому прогрессу вида? Поясните на конкретных примерах.

«Происхождение жизни на Земле»

1. Объясните, почему в настоящее время на нашей планете невозможно зарождение жизни из веществ неорганической природы.
2. Как вы считаете, почему именно море стало первичной средой развития жизни?
3. Какие эволюционные преимущества дает переход растений к семенному размножению?

«Происхождение человека»

1. В ранний период развития сердце человеческого зародыша состоит из одного предсердия и одного желудочка. Прокомментируйте этот факт.
2. Почему современных человекообразных обезьян нельзя считать предками человека?
3. Как связано развитие мозга и совершенствование орудий труда?
4. Докажите, что все человеческие расы принадлежат к одному виду — Человек разумный. Объясните несостоятельность расизма.
5. Как вы считаете, будут ли усиливаться или сглаживаться расовые признаки в будущем человеческом обществе? Обоснуйте свое мнение.
6. Как можно представить будущее развитие человека?

ГЛАВА

5

Экосистема



ТЕМЫ

Экологические факторы

Структура экосистем

Биосфера — глобальная экосистема

Биосфера и человек

Один организм, одна популяция и даже целый вид не способны к самостоятельному изолированному существованию. Судьба всех живых существ, в том числе и человека, зависит от того, насколько корректными будут взаимоотношения между разными группами живых организмов, насколько оптимальным будет взаимодействие организмов с окружающей средой. **Высший структурный уровень организации живой материи**, система высшего ранга, охватывающая все явления жизни в атмосфере, гидросфере и литосфере, — **биосфера** — это хрупкая структура, целостность которой зависит от каждого из нас. Если слишком сильно изменятся условия, определяющие стабильное существование биосферы, тонкий слой жизни, покрывающий нашу планету и придающий ей уникальность, может разрушиться. Что же определяет постоянство и изменчивость биосферы? Что грозит ей катастрофами? Каковы те правила, которые человек должен соблюдать, живя в общем доме под названием **Земля**? Для того чтобы ответить на эти вопросы, нам надо изучить структуру и особенности функционирования биосферы.

5.1. Организм и среда. Экологические факторы

Вспомните!

Что изучает наука экология?

Какие экологические факторы вам известны?

Как организм состоит из отдельных клеток, которые в сумме создают некое единство, обладающее новыми качествами, так и биосфера состоит из своих функциональных единиц — экосистем. *Экосистема — это совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом и функционирующих как единое целое.*

Итак, речь идет об определенных группировках растений, животных, грибов и микроорганизмов, которые взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой. Такие системы существовали задолго до появления человека. По сути, биологическая история Земли — это история существования экосистем, взаимоотношения внутри которых и между которыми собственно и определяли эволюционный процесс. В отсутствие человека естественные природные экосистемы будут продолжать свое существование, даже порой, пожалуй, более успешно, чем при его вмешательстве. Поэтому, если мы хотим оставаться равноправными членами биосферы, нам надо обладать конкретными знаниями и соблюдать определенные правила.

Задачи экологии. Науку о взаимоотношениях организмов между собой и с окружающей средой называют *экологией* (от греч. oikos — дом, убежище, местопребывание и logos — наука, учение). Впервые термин «экология» в 1866 г. ввел немецкий зоолог и эволюционист Эрнст Геккель.

Экология изучает:

- воздействие окружающей среды на растительные и животные организмы, популяции, виды и экосистемы;
- взаимодействия живых организмов друг с другом;
- структуру популяций и механизмы, определяющие численность особей в них;
- продуктивность экосистем и закономерности их функционирования;
- влияние экологических факторов на человека и воздействие человека на другие организмы, популяции, виды и экосистемы.

Важной проблемой, стоящей перед современными экологами и всем человечеством в целом, является сохранение природных экосистем и создание безотходных промышленных предприятий. По мере ускорения темпов научно-технического прогресса воздействие человечества на природу становится все более сильным. Необходимо иметь возможность предсказывать последствия хозяйственной деятельности человека, создавать более продуктивные агроценозы, разумно использовать природные ресурсы. В последнее время в связи с негативными последствиями влияния человека на биосферу практическое значение экологии резко возрастает. Природоохранные мероприятия, решение многих производственных и научно-технических задач основываются на экологических знаниях и экологическом подходе.

Среда обитания и экологические факторы. С экологической точки зрения *среда обитания* — это часть природы, которая окружает живые организмы и оказывает на них прямое или косвенное воздействие. Живые организмы постоянно испытывают на себе влияние как факторов неживой природы, так и других организмов, вместе с которыми они обитают. Любой компонент среды, способный оказывать влияние на организмы, называют *экологическим фактором*. В ответ на действие факторов внешней среды у организмов в процессе естественного отбора вырабатываются приспособительные реакции, которые позволяют им выживать и оставлять потомство.

Различают три группы экологических факторов: абиотические, биотические и антропогенные.

Абиотические факторы — это элементы неживой природы, воздействующие на живой организм. К ним относят такие характеристики неживой природы, как свет, температуру, влажность, химический состав воды, воздуха, почвы, давление, рельеф местности, ветер, водные течения, приливы и отливы, смену времен года и многие другие.

Биотические факторы — это все виды влияния на организмы со стороны других живых организмов. Такое воздействие может быть прямым, например, если хищник съедает свою жертву, или косвенным, если один организм изменяет среду обитания другого организма.

Антропогенные факторы — это все формы человеческой деятельности, которые оказывают воздействие на живую природу. На протяжении истории человечества значение этой группы факторов неуклонно возрастает.

Закономерности влияния экологических факторов на организмы.

Большинство экологических факторов постоянно изменяются во времени и в пространстве. Причем эта изменчивость может быть регулярной, периодической (например, смена суточной освещенности, сезонные изменения температуры, приливы и отливы, уменьшение количества кислорода при подъеме в горы и т. д.) или нерегулярной (изменения погоды, наводнение, лесной пожар).

Степень воздействия любого фактора на живые организмы зависит от его интенсивности и от того, как в данный момент действуют остальные факторы. Например, в морозы животные могут замерзнуть при нехватке корма и нормально себя чувствовать, если пищи достаточно. При высокой влажности воздуха человек значительно легче переносит жару.

На организм одновременно влияют многочисленные и разнообразные факторы среды, и у каждого вида существуют свои пределы выносливости по отношению к их воздействию. Например, лишайники выдерживают колебания температуры от -70 до $+60$ °C, а некоторые виды океанических рыб способны существовать только при температуре от -2 до $+2$ °C. При 0 °C у таких рыб обмен веществ идет наиболее интенсивно, а при температуре более 2 °C рыбы перестают двигаться и впадают в тепловое оцепенение. То значение фактора, которое наиболее благоприятно для жизнедеятельности, роста и размножения организмов, называют *оптимальным* или *зоной оптимума*. Диапазон изменчивости фактора, в пределах которого возможна жизнедеятельность организмов, называют *диапазоном выносливости*. Крайние значения фактора, за которыми условия становятся непригодными для жизни и вызывают гибель организмов, — это *пределы выносливости*. Между зоной оптимума и крайними точками находятся *зоны угнетения*, или *стрессовые зоны*, которые характеризуются увеличением или уменьшением действия фактора, что ухудшает жизнедеятельность особей (рис. 151).

Некое растение может чувствовать себя наиболее комфортно при температуре 24 °C (*точка оптимума*), продолжать активно расти в диапазоне температур от 20 до 28 °C, испытывать угнетение при дальнейшем изменении температуры в сторону ее увеличения или уменьшения и в конце концов погибнуть, если температура опустится ниже 5 или поднимется выше 38 °C.

Для каждого вида организмов существуют оптимум, стрессовые зоны и пределы выносливости в отношении каждого фактора среды.

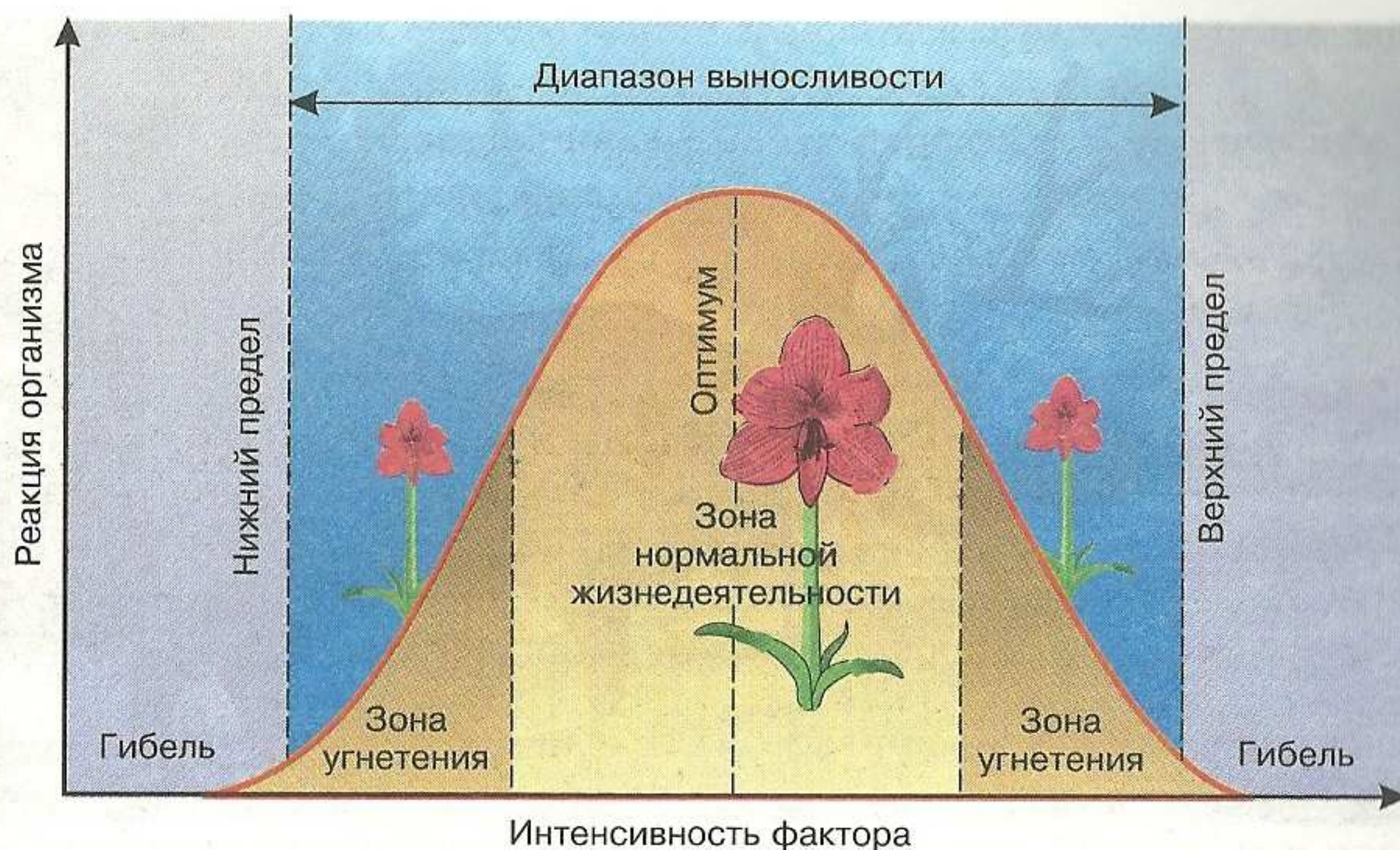


Рис. 151. Действие экологического фактора на организм

Виды могут существенно различаться с точки зрения оптимальных условий и пределов выносливости. Например, количество воды, оптимальное для одного вида, вызовет стресс у другого и приведет к гибели третий. Некоторые растения вообще не переносят заморозков, другие способны выживать при небольших холодах, а, например, даурская лиственница в Сибири выдерживает морозы до -70°C .

По отношению к факторам среды различают холодо- и теплолюбивые виды, влаго- и сухолюбивые, светолюбивые и теневыносливые. Некоторые организмы способны существовать в очень широком диапазоне изменчивости факторов, такие виды распространены повсеместно. Другим же для нормальной жизнедеятельности необходим очень строгий узкий диапазон условий, например некоторые зеленые водоросли способны существовать только при температуре 0°C .

Все факторы среды действуют совместно, поэтому, если интенсивность одного из них отклоняется от оптимальной величины, организмы начинают испытывать угнетение, несмотря на присутствие остальных факторов. Как бы мы ни поливали и ни подкармливали теплолюбивое растение, если температура снизится до 0°C , оно погибнет. В данном примере температура является ограничивающим фактором для растения. Впервые на существование *ограничивающих, или лимитирую-*



Рис. 152. Глубина снежного покрова — ограничивающий фактор в распространении оленей

щих, факторов обратил внимание немецкий химик Юстус Либих (1803—1873). Он сформулировал закон, который называют **законом минимума Либиха**: *даже единственный фактор за пределами зоны своего оптимума приводит к стрессовому состоянию и в пределе — к гибели организма.* Лимитирующие факторы определяют границы ареала распространения того или иного вида (рис. 152). Например, при наличии оптимальной температуры, света и влажности крапива будет расти только на почвах, богатых азотом. Следовательно, в данных условиях лимитирующим фактором для этих растений служит количество азота.

Все факторы окружающей среды, которые воздействуют на представителей определенного вида, взаимосвязаны между собой, поэтому в процессе эволюции организмы приспосабливаются не к каждому фактору в отдельности, а сразу к целому их комплексу. *Совокупность всех факторов, которая требуется для существования вида, называют экологической нишей.*

Вопросы для повторения и задания

1. Расскажите о задачах экологии.
2. Какие экологические факторы вы знаете?
3. Сформулируйте закон минимума Либиха.

4. Поясните, каким образом может проявиться ограничивающее действие фактора среды.
5. Что такое экологическая ниша? Охарактеризуйте экологическую нишу хорошо известного вам вида.

5.2. Абиотические факторы среды

Вспомните!

Что такое среда обитания?

Какие факторы относят к факторам неживой природы?

В процессе исторического развития организмы приспосабливаются к определенному комплексу абиотических факторов, которые становятся обязательными условиями их существования. При этом в процессе жизнедеятельности организмы сами участвуют в формировании абиотической (неживой) среды. В ходе фотосинтеза растения поглощают углекислый газ и выделяют в атмосферу кислород, животные-фильтраторы очищают воду, зеленые насаждения препятствуют эрозии почвы, а растения из семейства бобовых обогащают почву азотом — подобных примеров можно приводить множество.

Рассмотрим влияние основных абиотических факторов на живые организмы.

Температура. Температура — один из важнейших абиотических факторов, который действует всегда и везде. Именно температура обуславливает скорость биохимических реакций и влияет на большинство физических процессов.

Хотя оптимальный температурный режим для большинства видов находится в пределах от 15 до 30 °C, существуют организмы, которые способны выдерживать очень высокие или низкие температуры. Например, некоторые бактерии и водоросли обитают в горячих источниках при температуре 85—87 °C. Хорошо выдерживают перепады температуры покоящиеся стадии развития организмов — цисты, куколки насекомых, споры бактерий, семена растений.

Все беспозвоночные и большинство позвоночных животных являются *холоднокровными* организмами, которые не способны поддерживать постоянную температуру своего тела. Их температура зависит от теплового режима окружающей среды. Поэтому в холодное время

года активность таких животных сильно снижается. Птицы и млекопитающие — *теплокровные* животные, они имеют практически постоянную температуру тела, не зависящую от температуры окружающей среды. Поддержание высокой температуры тела у теплокровных организмов обеспечивается высоким уровнем обмена веществ, совершенной терморегуляцией и хорошей теплоизоляцией.

Так как температура подвержена суточным и сезонным колебаниям, организмы вынуждены приспосабливаться к подобным изменениям. В холодное время года у млекопитающих развивается более густой и длинный мех, в подкожной жировой клетчатке активно накапливается жир, который обеспечивает теплоизоляцию, у птиц зимой увели-

чивается масса перьев. У некоторых животных выработались поведенческие адаптации к сезонному снижению температуры: миграции, перелеты, рытье нор и поиск убежищ. В пустынях, где днем температура почвы может достигать 60—70 °С, животные зарываются в песок или прячутся в норы. У растений в жаркое время года усиливается испарение с поверхности листьев.

Влажность. Вода необходима для жизни всем живым организмам. Причем, если для наземных животных и растений особенно опасна потеря влаги, то для организмов, обитающих в воде, наоборот, избыток воды в организме может нарушить солевой баланс. Поэтому у водных организмов возникают различные приспособления для выведения лишней воды, например сократительные вакуоли у инфузории туфельки.

Для наземных живых организмов влажность — это один из важнейших факторов, который определяет их распространение. В течение жизни вода неизбежно теряется организмом, поэтому ее запасы надо постоянно пополнять. В зависимости от экологических условий у организмов выработались разнообразные приспособления для снабжения себя водой и экономии влаги. У таких засухоустойчивых растений, как верблюжья колючка, саксаул, пустынная полынь очень глубокая корневая система (рис. 153). Дру-

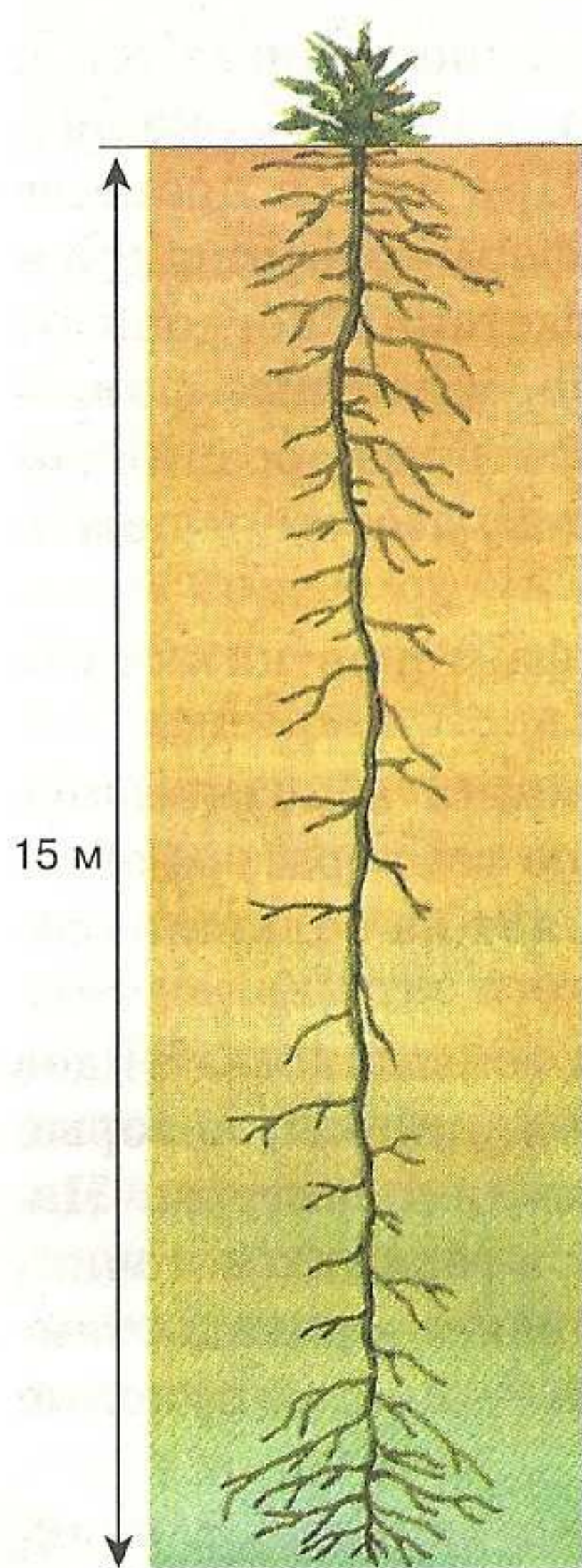


Рис. 153. Корневая система верблюжьей колючки

гие растения пустынь и полупустынь имеют узкие жесткие листья, покрытые восковым налетом, что значительно снижает потери воды при испарении. Некоторые растения — суккуленты (кактусы, молочаи) обладают сильно развитой водозапасающей тканью, а их листья превращены в колючки или чешуйки (рис. 154). Интересны адаптации некоторых степных растений, которые успевают за короткий влажный весенний период вырасти и отцвести. Засушливое время года они переживают в виде семян, луковиц, клубней.

Животные, обитающие в условиях пониженной влажности, тоже имеют определенные приспособления. Многие из них никогда не пьют и используют только ту жидкость, которая находится в пище. Препятствует испарению влаги плотный хитиновый покров наземных членистоногих. В процессе эволюции, перейдя к наземному существованию, полностью утратили кожные железы пресмыкающиеся. Ряд живот-



Рис. 154. Кактусы — растения, обладающие сильно развитой водозапасающей тканью

ных (насекомые, верблюды, сурки) используют для жизнедеятельности метаболическую воду, которая образуется при расщеплении жира. У паукообразных в ходе приспособления к экономии влаги изменился обмен веществ — выделяются обезвоженные продукты метаболизма (почти сухие кристаллы мочевой кислоты).

Большое значение для животных засушливых областей имеют приспособительные особенности поведения — поиск укрытий, ночной образ жизни. При большой сухости воздуха многие пустынные животные прячутся в норы и плотно закрывают в них вход. Воздух в замкнутом помещении быстро насыщается водяными парами, что препятствует дальнейшей потере влаги организмом. В период засухи многие грызуны, черепахи, змеи, некоторые насекомые впадают в спячку.

Свет. Основным источником энергии для живых организмов — это солнечный свет. Его биологическое влияние зависит от интенсивности, продолжительности действия, спектрального состава, суточной и сезонной периодичности.

Ультрафиолетовая часть спектра способствует образованию у животных витамина D. Эти лучи воспринимают органы зрения насекомых, а у растений ультрафиолет обеспечивает синтез пигментов и витаминов. *Видимая часть спектра* наиболее значима для организмов. Благодаря освещенности животные ориентируются в пространстве, а у растений осуществляется фотосинтез. *Инфракрасные лучи* — источник тепловой энергии, который очень важен для холоднокровных организмов.

В зависимости от требований к условиям освещенности растения подразделяют на светолюбивые, теневыносливые и тенелюбивые. Светолюбивые растения — это обитатели открытых местностей, они плохо переносят даже незначительное затенение (например, растения степей, белая акация). При рассеянном свете в затененных местах растет большинство папоротников и мхов, а рекордсменом по теневыносливости являются морские зеленые водоросли.

Важным фактором в жизни растений и животных является продолжительность светового дня и смена сезонов года. Изменение длины светового дня для многих организмов служит сигналом для изменения физиологической активности. Это явление называют *фотопериодизмом*. В процессе эволюции у животных и растений выработались определенные *биологические ритмы* — суточные и сезонные. От длины дня зависят сроки цветения и созревания плодов у растений, миграции

птиц, смена шерстного покрова у млекопитающих, начало брачного сезона, подготовка к зимней спячке и т. д. Существенно отличается образ жизни ночных и дневных животных. У растений в определенные часы открываются и закрываются цветки.

Ритмический характер имеют многие биохимические и физиологические процессы в организме человека. Известно более ста различных параметров, которые изменяются с ритмом в 24 часа (температура тела, артериальное давление, выделение гормонов и др.). Исследование биоритмов человека очень важно для организации оптимального режима труда и отдыха, разработки мер профилактики и лечения различных заболеваний.

Распространение тех или иных видов определяют не только свет, влажность и температура, но и другие абиотические параметры среды. Например, в прибрежной полосе океана могут обитать только определенные виды растений, выдерживающие повышенную засоленность почвы, а ветер влияет на расселение и миграцию пауков и летающих насекомых.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие приспособления к изменениям температуры окружающей среды существуют у растений и животных?
2. Расскажите о приспособлениях живых организмов к недостатку воды.
3. Благодаря какой части спектра солнечного излучения у растений осуществляется фотосинтез?
4. Расскажите, что вам известно о биологических ритмах живых организмов.

5.3. Биотические факторы среды

Вспомните!

Что такое среда обитания?

Какие факторы относят к факторам живой природы?

В природе существование каждого живого организма зависит не только от абиотических факторов, но и от обитающих рядом других организмов. Всю совокупность сложных и многообразных влияний одних

организмов на другие называют биотическими факторами. Разные виды, живущие на одной территории, практически всегда прямо или косвенно воздействуют друг на друга. Конечно, можно найти многочисленные примеры, когда существование видов является независимым, например кукушка и олень, живущие в одном лесу, но, как правило, такие случаи иллюстрируют опосредованные взаимоотношения организмов. Обычно совместное существование видов вызывает возникновение определенных приспособлений и зависимости друг от друга.

Хищничество. Это один из самых распространенных видов взаимоотношений в природе, который играет важную роль в поддержании равновесия в экосистемах. Хищники — организмы, которые ловят, умерщвляют и поедают свою жертву (рис. 155). Взаимоотношения «хищник — жертва» встречаются во всех царствах живой природы. Кроме животных-хищников существуют хищные грибы и растения (росянка, венерина мухоловка и др.) (рис. 156).

Если популяции жертв и хищников долгое время сосуществуют вместе, между ними складываются равновесные взаимоотношения — с увеличением популяции жертвы возрастает численность хищников, т. е. осуществляется биологическая регуляция численности популяций (рис. 157). Как правило, в природе хищники в первую очередь уничтожают больных или ослабленных особей, тем самым способствуя

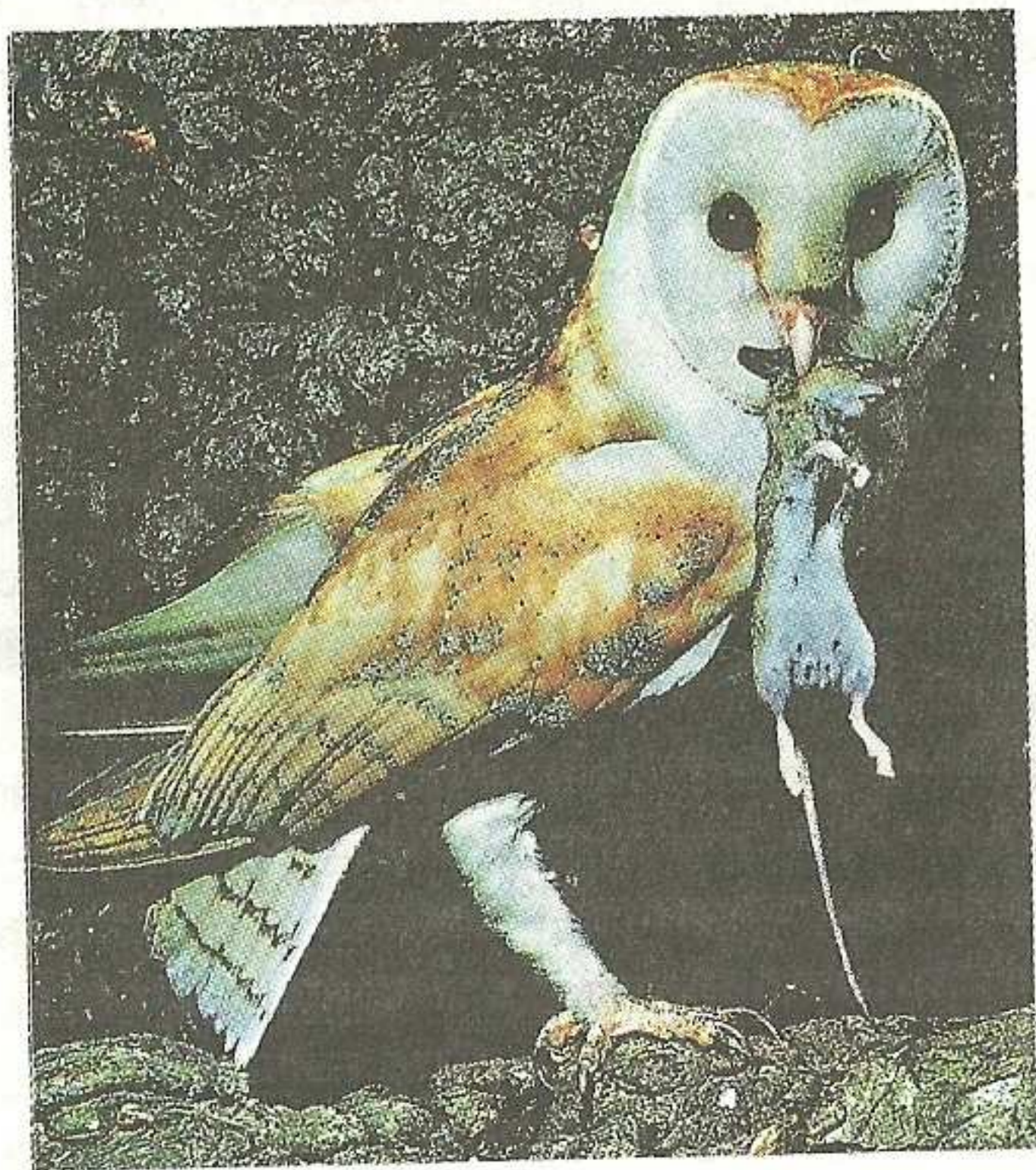


Рис. 155. Примеры хищничества в животном царстве

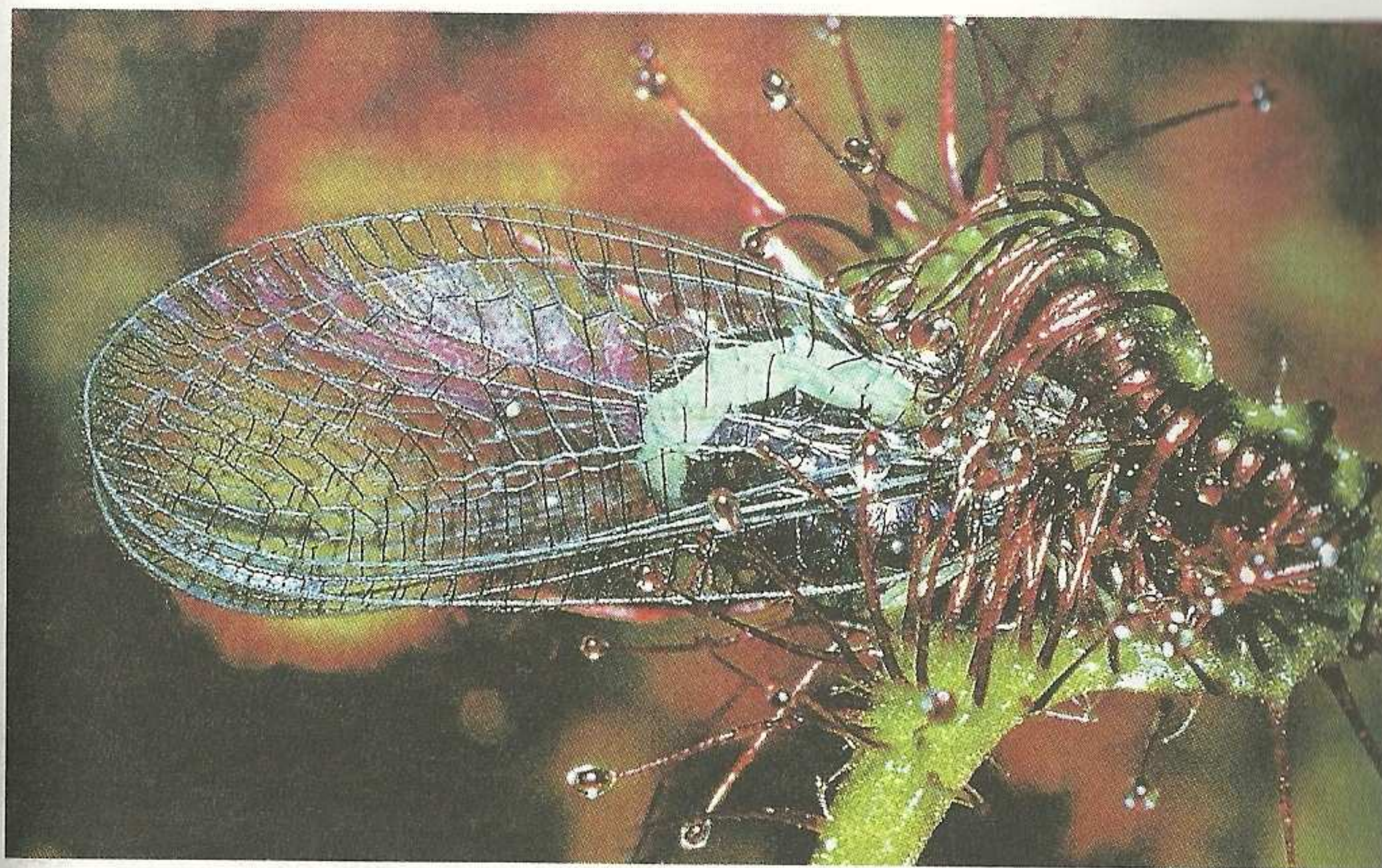


Рис. 156. Хищное растение росянка

обновлению и укреплению популяции жертвы. Нередко полное уничтожение хищников вызывало сначала резкое увеличение численности популяции жертвы. Однако в дальнейшем это приводило к подрыву кормовой базы, развитию заболеваний и, как следствие, к массовой гибели жертв.

В процессе эволюции происходит постоянное совершенствование и хищников, и жертв. У крупных хищников — волков, живущих стаями, вырабатывается сложное согласованное поведение при охоте на копытных. Большинство хищников способно переключаться с одной добычи на другую, более доступную и многочисленную. Узкая специализация

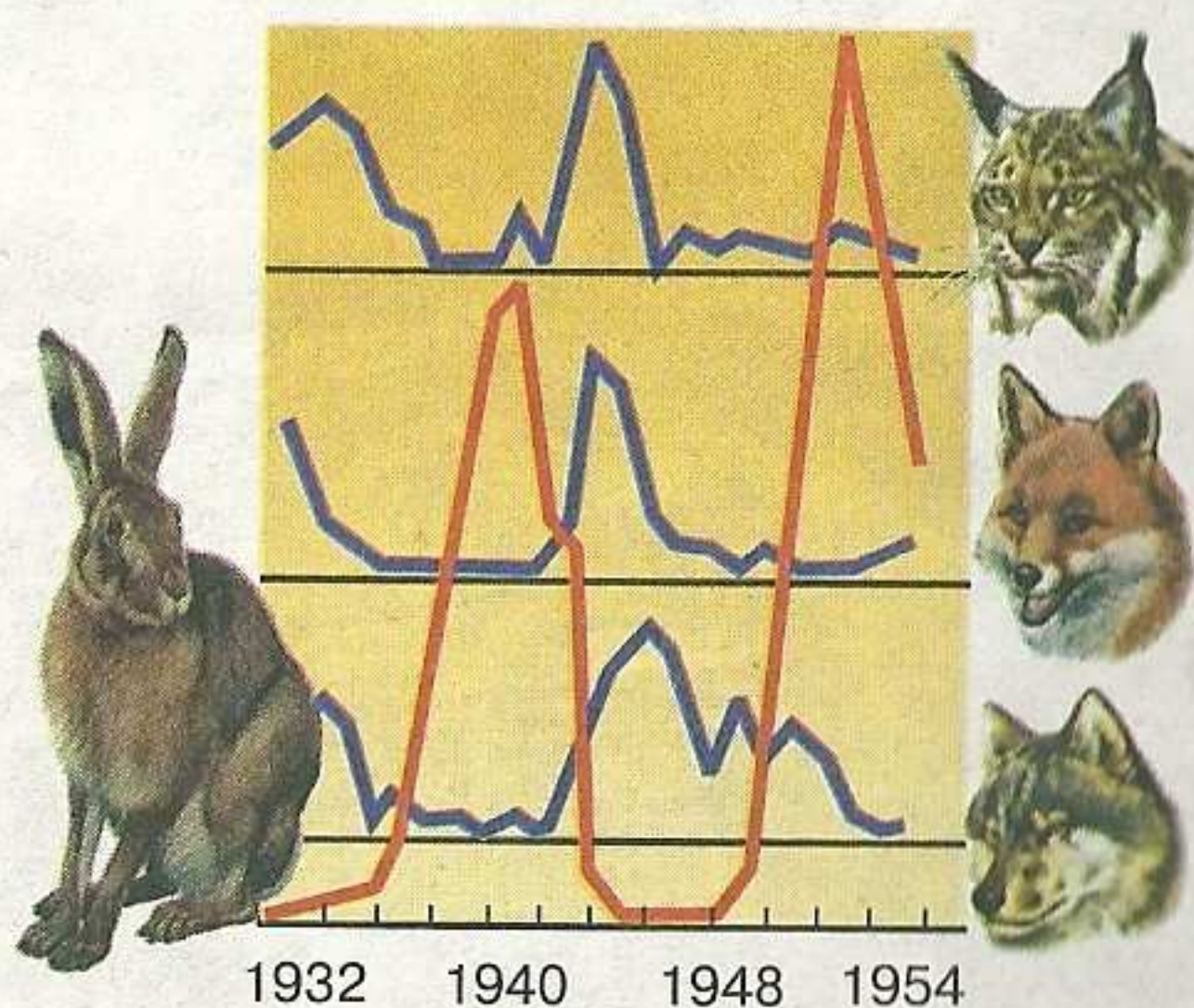


Рис. 157. Взаимосвязь колебаний численности популяций в системе «жертва — хищник»

поставила бы хищников в жесткую зависимость от процветания жертвы. Так, лисы могут питаться не только зайцами, но и грызунами, лягушками, а при необходимости и наведаться в курятник.

В свою очередь жертвы в процессе естественного отбора совершенствуют средства защиты и избегания хищников. Яды растений, сложное приспособительное поведение животных, покровительственная окраска, мимикрия, панцири и шипы — все это способствует выживанию жертв.

В определенных условиях при ограниченности пищевых ресурсов и пространства в популяции может возникнуть *каннибализм* (поедание особей своего вида) — одна из форм хищничества. Каннибализм известен у насекомых, хищных рыб, паукообразных и других организмов.

Паразитизм. Это форма межвидовых взаимоотношений, в процессе которых один из видов (паразит) использует другого (хозяина) в качестве среды обитания или источника пищи, нанося ему существенный вред. Паразиты встречаются практически во всех таксономических группах, начиная от внутриклеточных паразитов — вирусов и кончая высшими растениями и многоклеточными животными (рис. 158).

Совместная эволюция популяций паразитов и хозяев приводила к возникновению многочисленных адаптаций с обеих сторон. К специфическим приспособлениям паразитов, которыми они отличаются от свободноживущих организмов, относятся разнообразные органы прикреп-



Рис. 158. Повилика — растение-паразит

ления, высокая плодовитость, сложные циклы развития и др. Причем следует отметить, что паразиты, как правило, снижая жизнеспособность хозяина, не вызывают его быстрой гибели, потому что в итоге это привело бы к гибели самого паразита.

Паразитов подразделяют на *обязательных*, для которых паразитизм — единственно возможный образ жизни (ленточные черви), и *необязательных*, которые способны также и к самостоятельному существованию (некоторые нематоды).

Существуют *наружные паразиты*, которые обитают на поверхности тела хозяина, коже, жабрах (комары, слепни, клещи), и *внутренние паразиты*, живущие в полостях тела, органах, клетках (лямблии, аскариды, печеночный сосальщик, малярийный плазмодий). Паразитизм может быть *временным*, если паразиты используют хозяина только в момент питания (кровососущие насекомые) или *постоянным*. В последнем случае паразиты на всех стадиях своего жизненного цикла связаны с одним или несколькими хозяевами.

Конкуренция. Это вид взаимоотношений, при которых организмы соревнуются за одни и те же ресурсы окружающей среды. В природе конкурентные взаимоотношения могут возникать между особями одного вида (*внутривидовая конкуренция*) и разных видов (*межвидовая конкуренция*). Наиболее острую внутривидовую конкуренцию Ч. Дарвин рассматривал как важнейшую форму борьбы за существование (§ 4.4).

Межвидовая конкуренция, как правило, возникает между особями экологически близких видов, обитающими на одной территории. Формы конкурентной борьбы могут быть самыми разнообразными — от прямой физической борьбы до относительно мирного сосуществования. Однако, обычно, если виды вступают в конкурентные взаимоотношения за общие ресурсы, то постепенно один из них вытесняет другой. Такое явление называют *конкурентным исключением*. Одновременно в одной экосистеме могут ужиться только те виды, которые заняли разные экологические ниши и не конкурируют друг с другом. Разделение ресурсов может произойти за счет, например, поведенческой специализации — разные виды птиц питаются определенным типом корма (насекомыми, семенами, орехами и т. д.) или за счет разделения мест обитания. Так, в пологом ярусе листопадного леса обитает певчий дрозд, в кустарниковом — мухоловка-пеструшка, а в травяном — крапивник.

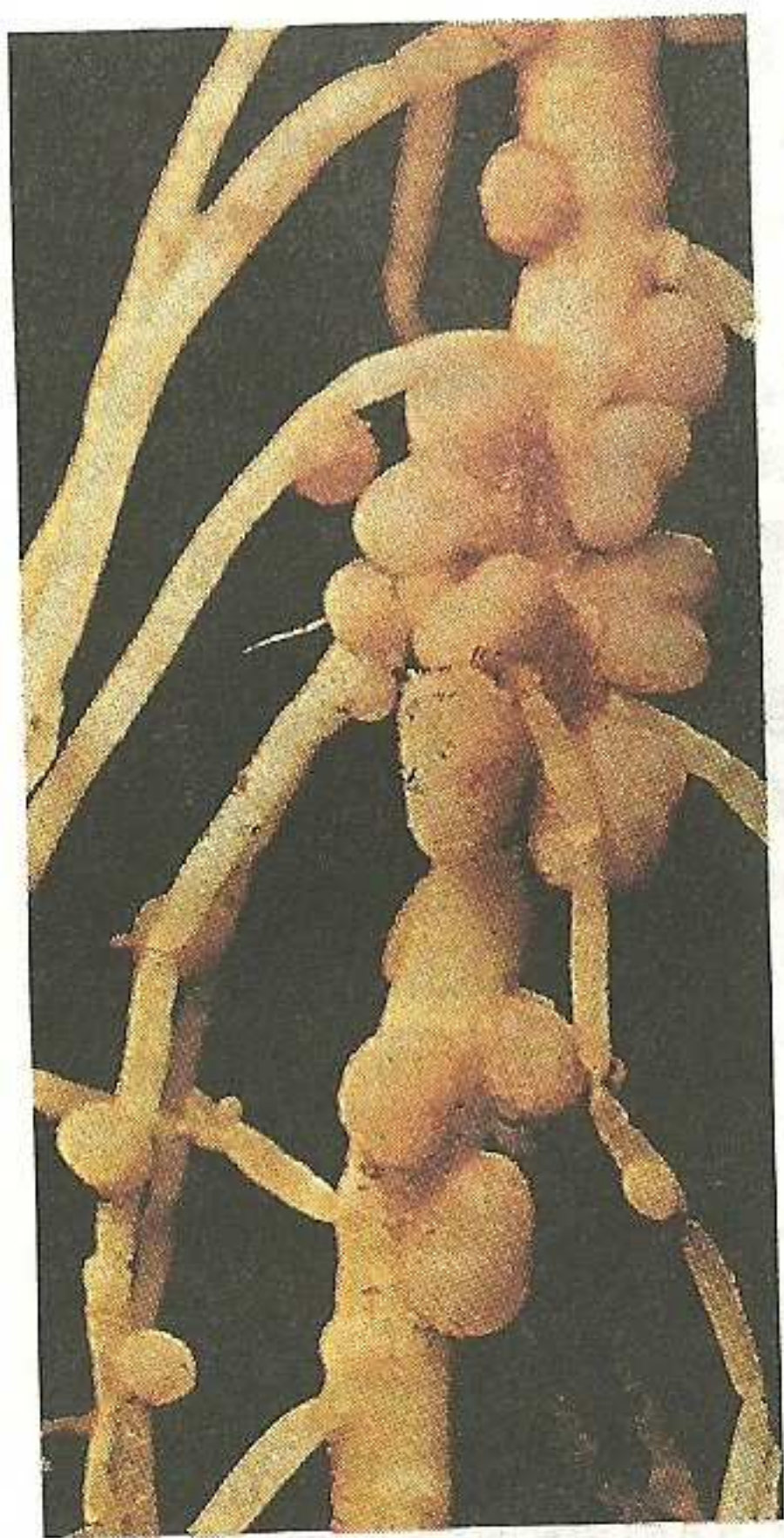


Рис. 159. Симбиоз клубеньковых бактерий с растениями семейства бобовых

Симбиоз. Различные формы совместного существования видов, при которых оба партнера извлекают пользу, т. е. получают преимущество в борьбе за существование, называют симбиозом (от греч. *symbiosis* — совместная жизнь). В симбиотические отношения могут вступать бактерии, водоросли, грибы, простейшие, высшие растения и животные.

Взаимовыгодные отношения играют очень важную роль в функционировании экосистем. Например, более 75% видов цветковых растений живут в симбиозе с грибами. Грибница вырастает в корни и снабжает растения минеральными соединениями, а растение, в свою очередь, питает гриб органическими веществами. Симбиоз клубеньковых бактерий с бобовыми растениями позволяет последним селиться на почвах, бедных азотом (рис. 159). Бактерии, живущие на корнях, усваивают атмосферный азот, включая его в состав аминокислот, и снабжают этими органическими соединениями своего симбионта.

Классическим примером симбиоза является сожительство раков-отшельников с мягкими коралловыми полипами — актиниями (рис. 160). Рак поселяется в пустой раковине моллюска и возит ее на себе вместе с полипом. Такое сосуществование взаимовыгодно: перемещаясь по дну, рак увеличивает пространство, которое актиния может использовать для ловли добычи. В то же время актиния маскирует жилище рака и обеспечивает его защиту при помощи стрекательных клеток, расположенных в щупальцах.

Другим характерным примером симбиоза служит опыление растений представителями животного царства. Всем известны насекомые-опылители, но, например, в тропиках большое количество видов опыляется птицами (колибри) и летучими мышами, а иногда даже летающими животными, такими, как хоботноголовый кукус — обитающий в Австралии представитель отряда сумчатых.

Велика роль бактерий-симбионтов, обитающих в желудочно-кишечном тракте растительноядных животных. От деятельности этих микроорганизмов, которых в желудке жвачных может находиться колоссальное количество, зависит процесс переваривания пищи.

сальное количество, полностью зависит переваривание целлюлозы. Достаточно часто симбиоз встречается среди насекомых, например муравьи защищают тлей от хищников и поедают их сладкие выделения.

Все разнообразные формы биологических взаимоотношений между видами служат регуляторами численности организмов, обеспечивая устойчивое состояние экосистем.

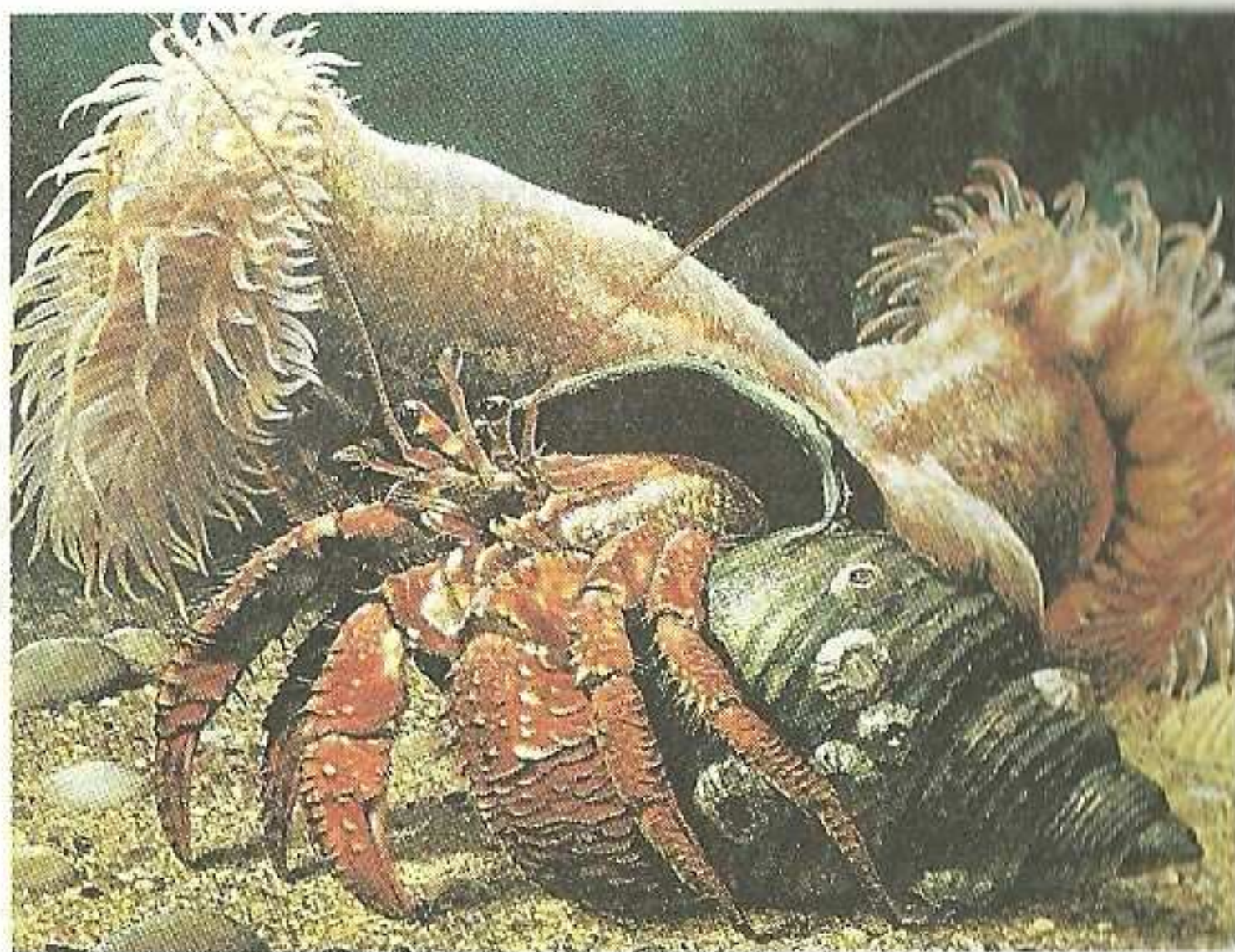


Рис. 160. Симбиоз актинии и рака-отшельника

Вопросы для повторения и задания

1. Назовите известные вам виды взаимоотношений организмов в природе.
2. Приведите примеры симбиоза и отметьте положительные стороны такого типа взаимодействия для обоих партнеров.
3. Расскажите о хищничестве в животном и растительном мире и дайте определение этому явлению.
4. Что такое паразитизм? Что вы можете сказать о разных формах паразитизма? Приведите примеры.
5. По каким критериям можно отличить хищничество от паразитизма?
6. Как сказывается конкуренция на интенсивности жизнедеятельности соперничающих видов?

5.4. Структура экосистем

Вспомните!

Какие вам известны уровни организации живой природы?
Что такое экосистема?

Влияние абиотических факторов на живые организмы и взаимодействия между отдельными видами лежат в основе жизни любого сообщества. *Сообщество*, или *биоценоз*, — это совокупность сосуществующих популяций разных видов. Вместе с факторами неживой

природы (абиотическими факторами) сообщество образует *экосистему*.

Экосистема — это очень широкое понятие. Дождевой тропический лес и болото, гниющий пенек и муравейник, лужа посреди проселочной дороги и одиноко стоящее дерево с его обитателями — это разные природные экосистемы. Существуют экосистемы искусственного происхождения, например сельскохозяйственные угодья, аквариум, ферма. Экосистему, границы которой определены растительным сообществом, например дубрава, луг, ельник, березовая роща, называют *биогеоценозом*. Вся совокупность биогеоценозов земного шара образует глобальную экосистему, или *биосферу*.

Любая экосистема имеет пространственную, видовую и экологическую структуры.

Пространственная структура экосистемы. Пространственная структура большинства биогеоценозов и, следовательно, экосистем определяется ярусным расположением растительности (рис. 161). Например, в типичном листопадном лесу можно выделить пологий (древесный), кустарниковый, травяной и надпочвенный (приземный) ярусы. Углубляясь в почву, можно тоже обнаружить определенные «этажи», которые образованы корнями определенных растений и где обитают разные виды подземных животных. Подобная пространственная органи-



Рис. 161. Пример ярусности экосистемы. Ярусная структура лиственного леса

зация экосистемы позволяет растениям эффективно использовать солнечный свет и ресурсы почвы, а многочисленным животным и микроорганизмам сосуществовать вместе, занимая разнообразные экологические ниши.

В составе любой экосистемы можно выделить два основных структурных компонента: комплекс факторов неживой природы, так называемое абиотическое окружение, или *биотоп*, и совокупность всех живых организмов — *биоценоз*. В свою очередь, биоценоз можно подразделить на *зооценоз* (сообщество животных), *фитоценоз* (сообщество растений), *микробоценоз* (сообщество микроорганизмов). Биотоп — это тоже не однородная система, он состоит из разнообразных абиотических факторов, которые в сумме формируют определенные климатические, географические, почвенные и другие параметры экосистемы.

Видовая структура экосистемы. Биоценоз любой экосистемы характеризуется определенным *видовым разнообразием*, т. е. числом видов, которые его образуют, и количественным соотношением особей этих видов. Видовое разнообразие обеспечивает стабильность экосистем. Высокая численность популяций, входящих в состав экосистемы, свидетельствует о том, что данные виды оптимально приспособлены к конкретным условиям и важны для стабильного существования этой экосистемы. Обычно общую численность особей в популяциях подсчитать достаточно сложно, поэтому при характеристике экосистем используют понятие *плотность популяции* (§ 4.6).

Экологическая структура экосистемы. Несмотря на громадное разнообразие экосистем, все они имеют примерно одинаковую экологическую структуру. Экологическая структура — это соотношение групп видов, занимающих определенные экологические ниши и выполняющих определенные функции в сообществе. Наличие этих групп является обязательным условием стабильного существования любой экосистемы, потому что благодаря их взаимодействию обеспечивается главное свойство экосистем — *способность к самоподдержанию*. Эти обязательные компоненты любой экосистемы — продуценты, консументы и редуценты.

Продуценты, или производители, — это автотрофы, которые в процессе жизнедеятельности синтезируют из неорганических веществ органические соединения, используя в качестве источника углерода углекислый газ. Биомассу, образованную в экосистеме автотрофными организмами, называют *первичной продукцией*. Она служит пищей и источником энергии для остальных организмов сообщества.

Основными продуцентами являются зеленые растения, хотя свой вклад в образование первичной продукции экосистемы вносят также фотосинтезирующие и хемосинтезирующие бактерии. Для каждой крупной экосистемы или для любого биогеоценоза характерны свои специфические растения, осуществляющие фотосинтез, т. е. свои продуценты.

Консументы, или *потребители*, — это гетеротрофные организмы, которые используют синтезированную продуцентами биомассу для собственной жизнедеятельности. Съедая и перерабатывая растения, консументы получают энергию и образуют *вторичную продукцию* экосистемы.

Консументами являются самые разные живые организмы — от микроскопических бактерий до крупных млекопитающих, от простейших до человека. С точки зрения структуры экосистемы и той роли, которую играют разные консументы в поддержании ее равновесного состояния, всех консументов можно подразделить на несколько подгрупп, что мы и сделаем несколько позже, когда будем разбирать *пищевые связи* экосистем.

Редуценты, или *разлагатели*, перерабатывают мертвое органическое вещество (*детрит*) до минеральных соединений, которые снова могут быть использованы продуцентами. Многие организмы, такие, как, например, дождевые черви, многоножки, термиты, муравьи и др., питаются растительными и животными остатками, а часть древесины гниет и разлагается в процессе жизнедеятельности грибов и бактерий. Когда грибы и другие редуценты отмирают, они сами превращаются в детрит и служат пищей и источником энергии другим редуцентам.

Таким образом, несмотря на многообразие экосистем, все они обладают *структурным сходством*. В каждой, способной к самостоятельному существованию, экосистеме есть свои продуценты, различные виды консументов и редуцентов (рис. 162).

Экосистема дубравы. Рассмотрим в качестве примера дубраву — очень устойчивую наземную экосистему (рис. 163). Дубрава является типичным широколиственным лесом ярусной структуры, в котором совместно существуют многие сотни видов растений и несколько тысяч видов животных, микроорганизмов и грибов.

Верхний древесный ярус образуют крупные (до 20 м) многолетние дубы и липы. Эти светолюбивые растения, растущие достаточно свободно, создают благоприятные условия для формирования второго дре-

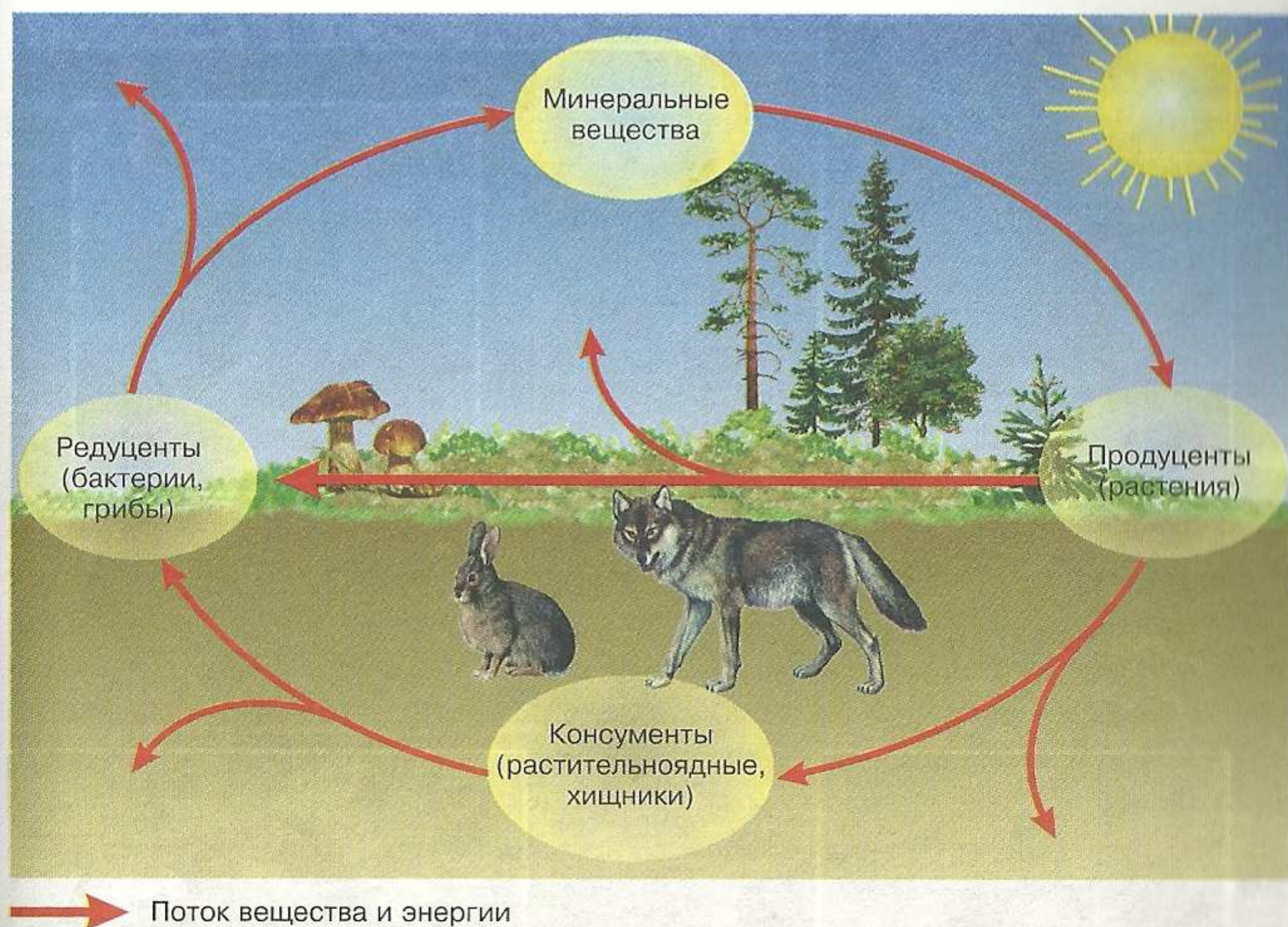


Рис. 162. Необходимые компоненты экосистемы

весного яруса, представленного низкорослыми и менее светолюбивыми грушей, кленом, яблоней.

Под пологом двух ярусов формируется кустарниковая растительность. Лещина, бересклет, калина, боярышник, терновник, бузина, крушина — это далеко не полный перечень растений, которые образуют третий ярус до высоты 2—4 м.

Следующий, травянистый ярус составляют многочисленные кустарнички и полукустарнички, папоротники, всходы деревьев и разнообразные травы. Причем в течение года в дубраве происходит смена травянистого покрова. Весной, когда листвы на деревьях еще нет и поверхность почвы ярко освещена, расцветают светолюбивые первоцветы: медуница, хохлатка, ветреница. Летом им на смену приходят теневыносливые растения.

В приземном ярусе, высота которого всего несколько сантиметров от поверхности почвы, растут лишайники, мхи, грибы, низкие травы.

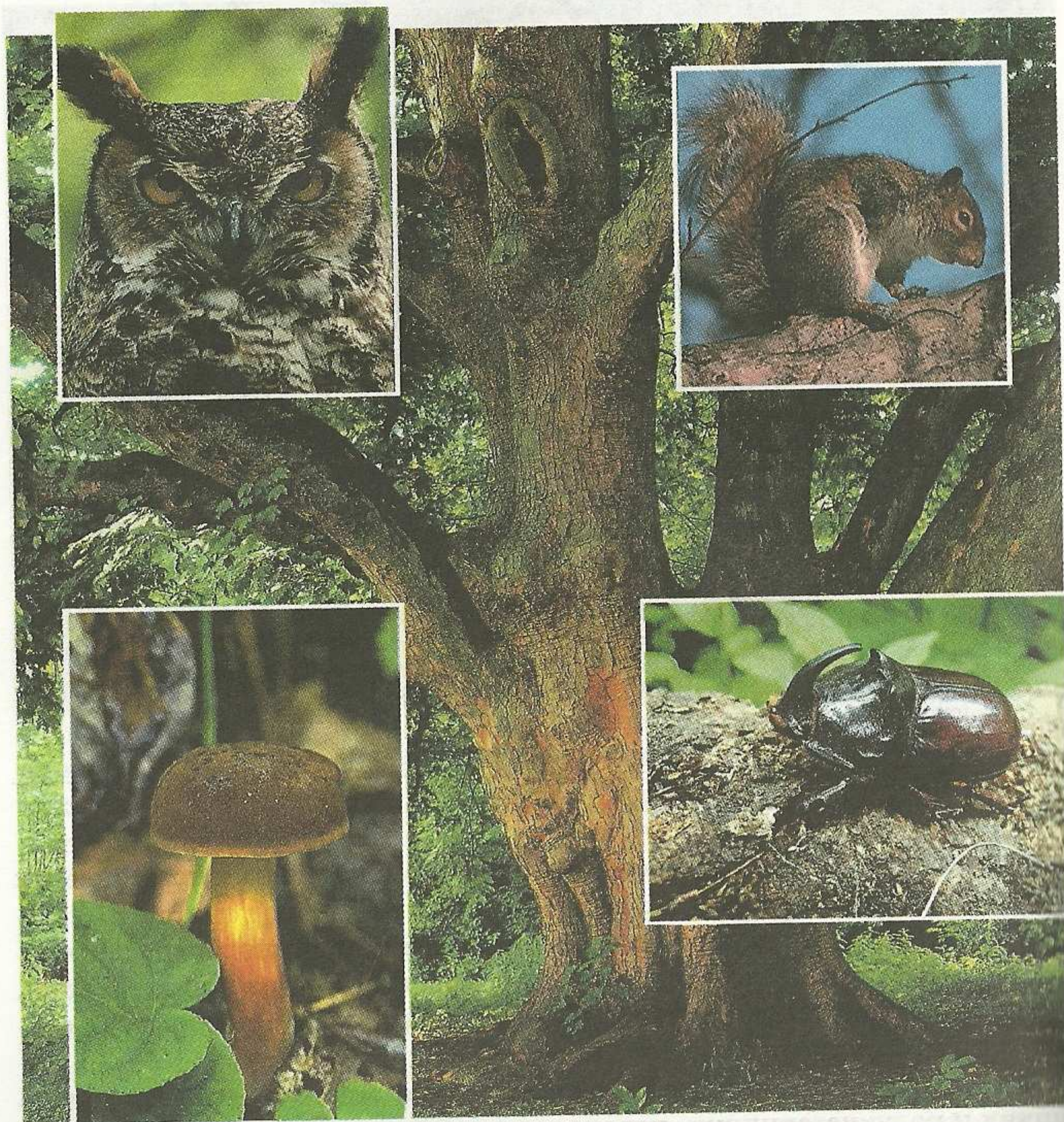


Рис. 163. Экосистема дубравы

Сотни видов растений (*продуцентов*), используя энергию Солнца, создают зеленую биомассу дубравы. Дубравы очень продуктивны! в течение года на площади в 1 га они создают до 10 т прироста растительной массы.

Мертвые корни и опавшие листья образуют подстилку, в которой обитают многочисленные *редуценты*: дождевые черви, личинки мух и бабочек, жуки-навозники и мертвоеды, мокрицы и многоножки, ногохвостки, клещи, нематоды. Питаясь, эти организмы не только преобразуют детрит, но и формируют почвенную структуру. Деятельность таких землероев, как кроты, мыши и некоторые крупные беспозвоночные, не дает почве слеживаться. В каплях воды между частичками почвы обитают многочисленные почвенные простейшие, а грибы образуют симбиоз с корнями растений и участвуют в разложении детрита.

Несмотря на то, что ежегодно на 1 га поверхности почвы в дубраве поступает 3—4 т отмерших растений, почти вся эта масса разрушается в результате деятельности редуцентов. Особая роль в этой переработке принадлежит дождевым червям, которых в дубравах насчитывается огромное количество: несколько сот особей на 1 м².

Разнообразен животный мир верхних ярусов дубравы. В кронах деревьев гнездятся десятки видов птиц. Вьют гнезда сорока и галка, певчий дрозд и зяблик, большая синица и лазоревка. В дуплах выводят птенцов филин и обыкновенная неясыть. Чеглок и перепелятник наводят страх на мелких певчих птиц. В кустарниках обитают зарянка и черный дрозд, мухоловка-пеструшка и поползень. Еще ниже находятся гнезда славки и крапивника. По всем ярусам перемещается в поисках пищи серая белка. Бабочки, пчелы, осы, мухи, комары, жуки — более 1600 видов насекомых тесно связаны с дубом! В травяном ярусе делят место под солнцем кузнечики и жуки, пауки и сенокосцы, мыши, землеройки и ежи. Самыми крупными *консументами* этой экосистемы являются косули, лани и кабаны.

Устойчивость этой и любой другой экосистемы обеспечивает сложная система взаимоотношений всех организмов, входящих в ее состав.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое биогеоценоз?
2. Расскажите о пространственной структуре экосистемы.
3. Какие обязательные компоненты включает любая экосистема?
4. В каких отношениях находятся друг с другом обитатели биоценозов? Охарактеризуйте эти связи.
5. Опишите видовой состав и пространственную структуру экосистемы дубравы.

5.5. Пищевые связи. Круговорот веществ и энергии в экосистемах

Вспомните!

Какие обязательные компоненты входят в состав любой экосистемы?

Живые организмы находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и с факторами внешней среды, формируя устойчивую саморегулирующуюся и самоподдерживающуюся экосистему. Особенности видового состава этой системы определяются историческими и климатическими условиями, а взаимоотношения организмов друг с другом и с окружающей средой строятся на основе *пищевого поведения*.

В рассмотренной нами экосистеме дубравы олени едят травянистые растения и листья кустарников, белки не прочь полакомиться желудями и грибами, еж съедает дождевого червя, а филин на ночной охоте ловит мышей и полевок. Многочисленные насекомые, желуди дуба, плоды дикой яблони и груши, семена и ягоды — прекрасный корм птицам. Мертвые органические остатки падают на землю. На них развиваются бактерии, которых потребляют простейшие, служащие в свою очередь кормом многочисленным мелким почвенным беспозвоночным. Все виды организмов связаны друг с другом сложной системой *пищевых взаимоотношений*.

При изучении структуры любой экосистемы становится очевидным, что ее устойчивость зависит от многообразия пищевых связей, существующих между разными видами этого сообщества. Причем, чем больше видовое многообразие, тем устойчивее структура. Представьте себе систему, в которой хищник и жертва представлены только одиночными видами, допустим «лиса—заяц». Исчезновение зайцев неизбежно приведет к гибели хищников, и экосистема, потеряв два своих компонента, начнет разрушаться. Если же в качестве пищи в данной экосистеме лиса может использовать и грызунов, и лягушек, и мелких птиц, то пропажа одного источника пищи не приведет к разрушению всей структуры, а освободившуюся экологическую нишу вскоре займут другие организмы, со сходными требованиями к среде.

В экосистеме происходит постоянный перенос вещества и энергии, заключенной в пище, от одних организмов к другим. Растения (продуценты), используя солнечную энергию, образуют сложные органические соединения. Эти вещества употребляют гетеротрофы (консументы).

ты), продукты жизнедеятельности которых, возвращаясь в окружающую среду, вновь используются автотрофными организмами. В экосистеме существует постоянный круговорот вещества и энергии, который поддерживается энергией Солнца. Каждый организм, участвующий в этом процессе, находится на определенном трофическом, или пищевом, уровне, образуя *трофическое (пищевое) звено*. В результате соединения нескольких трофических звеньев образуется *пищевая цепь*, в которой каждое предыдущее звено служит пищей последующему. Если проследить структуру отдельных пищевых цепей, то можно обнаружить, что цепи очень редко изолированы друг от друга. Обычно, одно и то же растение служит пищей нескольким животным, которые в свою очередь могут быть съедены разными хищниками. Таким образом, все пищевые цепи связаны между собой в единую *пищевую сеть*.

Первый трофический уровень экосистемы образуют автотрофные организмы, в основном зеленые растения.

Второй трофический уровень — это растительноядные животные и паразитические растения.

Третий уровень — это плотоядные животные, которые питаются травоядными, так называемые хищники первого порядка — мелкие млекопитающие, насекомоядные птицы, амфибии и рептилии. К этому же уровню относят паразитов этих животных.

Четвертый уровень образуют более крупные плотоядные животные — хищники второго порядка и их паразиты.

Пятый уровень формируют редуценты, которые потребляют мертвое органическое вещество.

Как правило, в экосистеме существует от трех до пяти трофических уровней. Пищевую цепь, которая начинается от растений, называют *пастбищной пищевой цепью*: например, осина → заяц → волк. Если цепь питания начинается с детрита (мертвой органики), ее называют *детритной цепью*: лиственной опад → дождевой червь → певчий дрозд → ястреб-перепелятник (рис. 164).

Обычно размеры хищников с переходом на следующий трофический уровень возрастают, а их численность снижается. Если мы попробуем оценить общее количество биомассы на каждом трофическом уровне, то заметим определенную закономерность. В большинстве наземных экосистем с повышением трофического уровня количество биомассы будет неуклонно снижаться (рис. 165). Подобная закономерность носит название *экологической пирамиды* и связана с тем, что

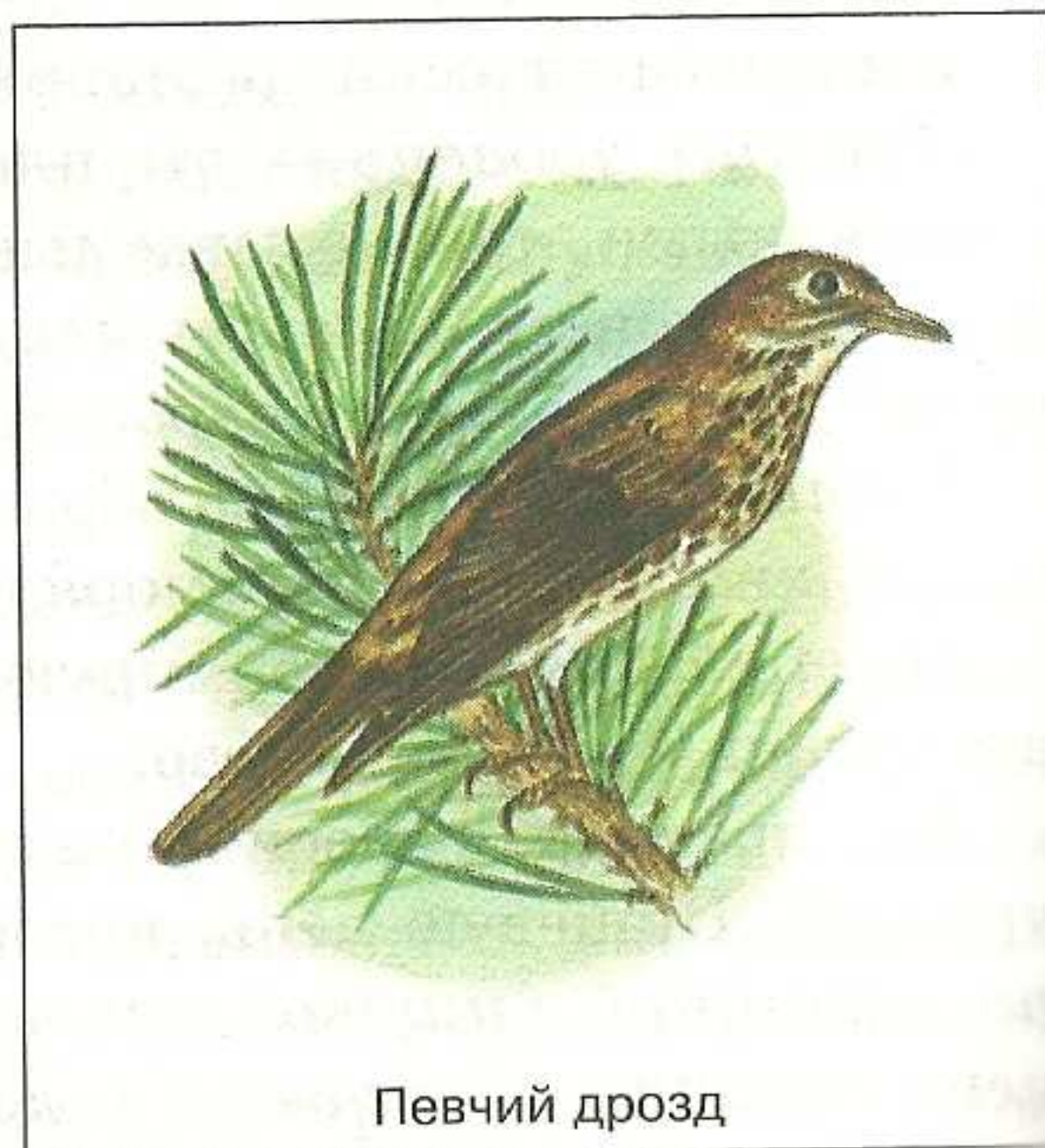
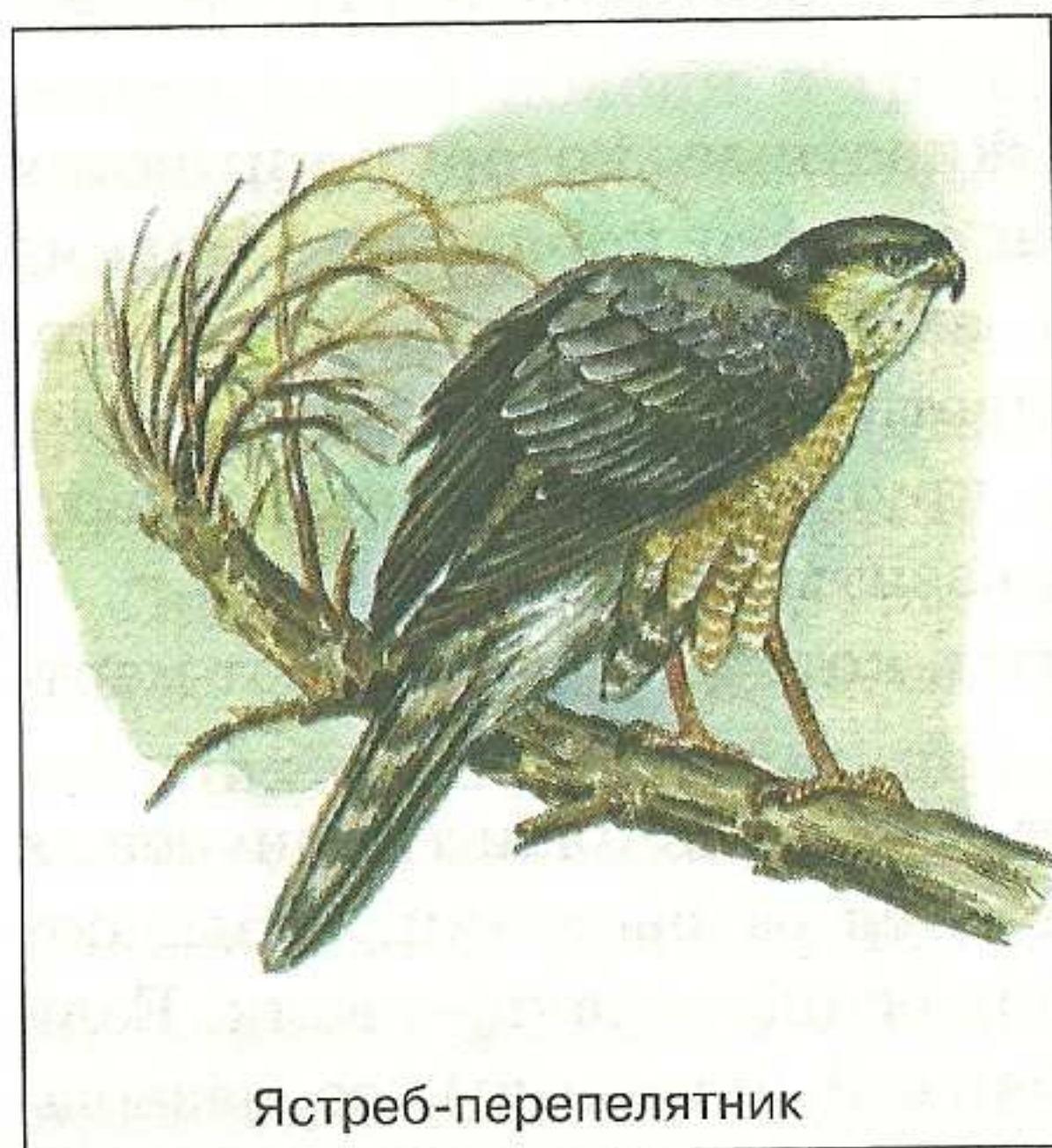
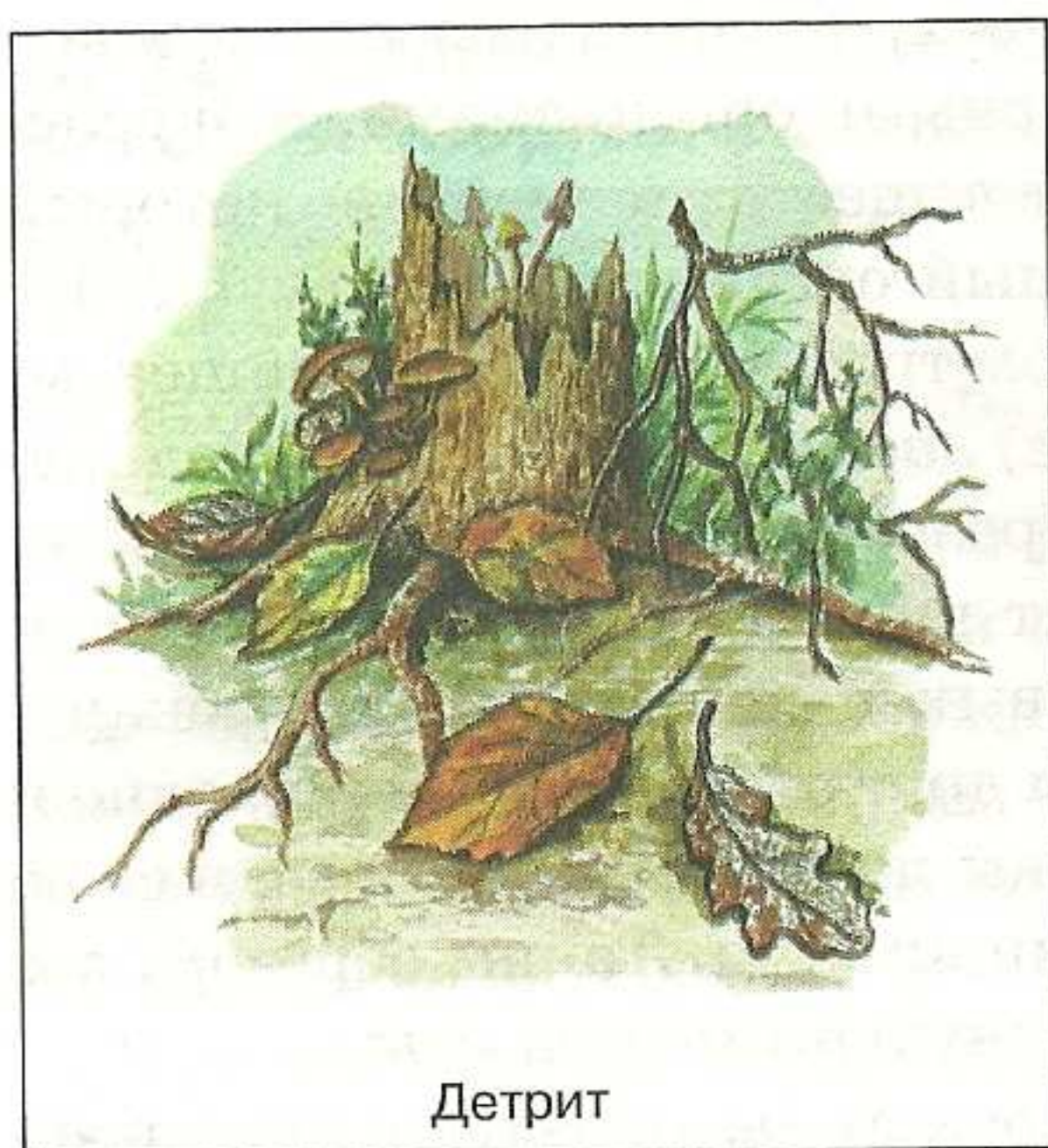


Рис. 164. Пример пищевых связей. Детритная цепь

на каждом трофическом уровне организмы способны использовать лишь 5—15% энергии поступившей биомассы для построения своего тела. Остальная энергия расходуется на движение, рассеивается в виде тепла или просто не усваивается.

Основание пирамиды образуют продуценты (растения). Над ними располагаются растительноядные животные. Следующий уровень об-

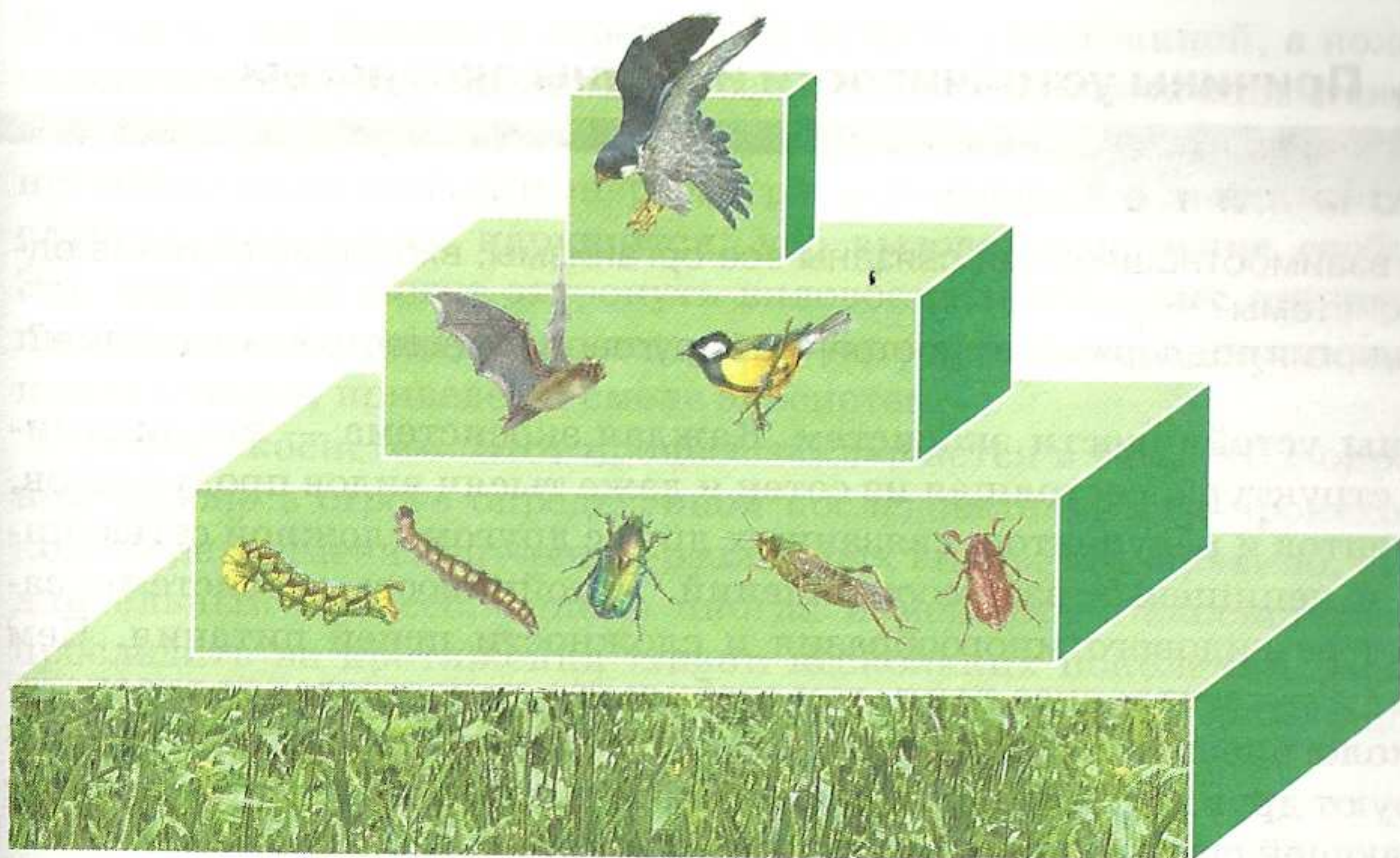


Рис. 165. Пример экологической пирамиды

разуют хищники первого порядка. Вершину пирамиды занимают наиболее крупные плотоядные животные. Причем число уровней в пирамиде соответствует числу звеньев в пищевой цепи. Различают пирамиду численности (особей), пирамиду биомассы и пирамиду энергии.

Наличие сложных пищевых взаимоотношений обеспечивает устойчивость экосистем. Если изменится среда обитания продуцентов, через пищевую сеть это неизбежно отразится на всех остальных организмах экосистемы. Нельзя нарушить какой-либо из экологических факторов, не затронув, в той или иной степени, существование всех видов, составляющих экосистему. Следовательно, изменение любого абиотического или биотического фактора неизбежно повлечет за собой изменение всей экосистемы.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое пищевая цепь (цепь питания) и что лежит в ее основе?
2. Чем определяется устойчивость экосистемы?
3. Составьте пищевую цепь, начинающуюся от растений.
4. Приведите примеры детритных пищевых цепей.
5. Объясните, что такое экологическая пирамида.

5.6. Причины устойчивости и смены экосистем

Вспомните!

Какими взаимоотношениями связаны все организмы, входящие в состав одной экосистемы?

Какая энергия поддерживает постоянный круговорот веществ в экосистеме?

Причины устойчивости экосистем. Каждая экосистема — это динамическая структура, состоящая из сотен и даже тысяч видов продуцентов, консументов и редуцентов, связанных друг с другом сложной сетью пищевых и непищевых взаимоотношений. Устойчивость экосистемы зависит от ее видового многообразия и сложности цепей питания. Чем сложнее и разветвленнее цепи, тем стабильнее существование экосистемы. Экологические возможности разных видов так дополняют и компенсируют друг друга, что в случае незначительных изменений условий окружающей среды сложная система сохраняет свою целостность.

Каждый вид в составе экосистемы представлен популяцией, поэтому стабильное существование экосистемы определяется стабильным существованием входящих в нее популяций. Изменение внешних условий воздействует на некоторые виды неблагоприятно, их численность уменьшается, и они могут вовсе исчезнуть из экосистемы. Такое направленное увеличение или уменьшение численности особей какой-либо популяции может привести к изменению экосистемы в целом. Например, при резком увеличении численности копытных в степной зоне может произойти полное уничтожение растительности. Нарушение травяного покрова вызовет ветровую эрозию почвы, и верхний плодородный слой может быть полностью уничтожен. Количество копытных в отсутствие основного корма снизится, но это не приведет к автоматическому восстановлению растительности в экосистеме.

Абсолютно неизменной и статичной может быть только неживая система. Даже в самых стабильных экосистемах в зависимости от сезона, времени суток, погодных влияний происходят определенные изменения. Если эти изменения отражают некие циклические процессы во внешней среде, они не приводят к направленному преобразованию экосистемы. Все показатели такой экосистемы колеблются около некой средней величины, т. е. поддерживается *динамическое равновесие*.

Равновесное состояние экосистемы означает, что то количество продукции, которое синтезируют зеленые растения и другие продуценты, в энергетическом отношении соответствует потребностям экосистемы,

В этом случае биомасса экосистемы остается постоянной, а положение экосистемы равновесным. Если затраты в экосистеме снизятся, она не сможет перерабатывать всю продукцию, и органическое вещество начнет накапливаться, если энергозатраты повысятся — исчезать. В обоих случаях равновесие нарушится, что вызовет изменение сообщества. Эти изменения могут затронуть видовое разнообразие, структуру пищевых цепей, продуктивность и другие показатели системы, что, в конце концов, приведет к смене экосистем.

Смена экосистем. Этот процесс заключается в том, что в определенном районе в строго определенной последовательности происходит закономерная смена популяций различных видов. Как правило, это очень длительный процесс, однако иногда изменения в экосистеме можно проследить на протяжении жизни нескольких поколений. Примером таких быстрых изменений может служить зарастание небольшого озера (рис. 166).

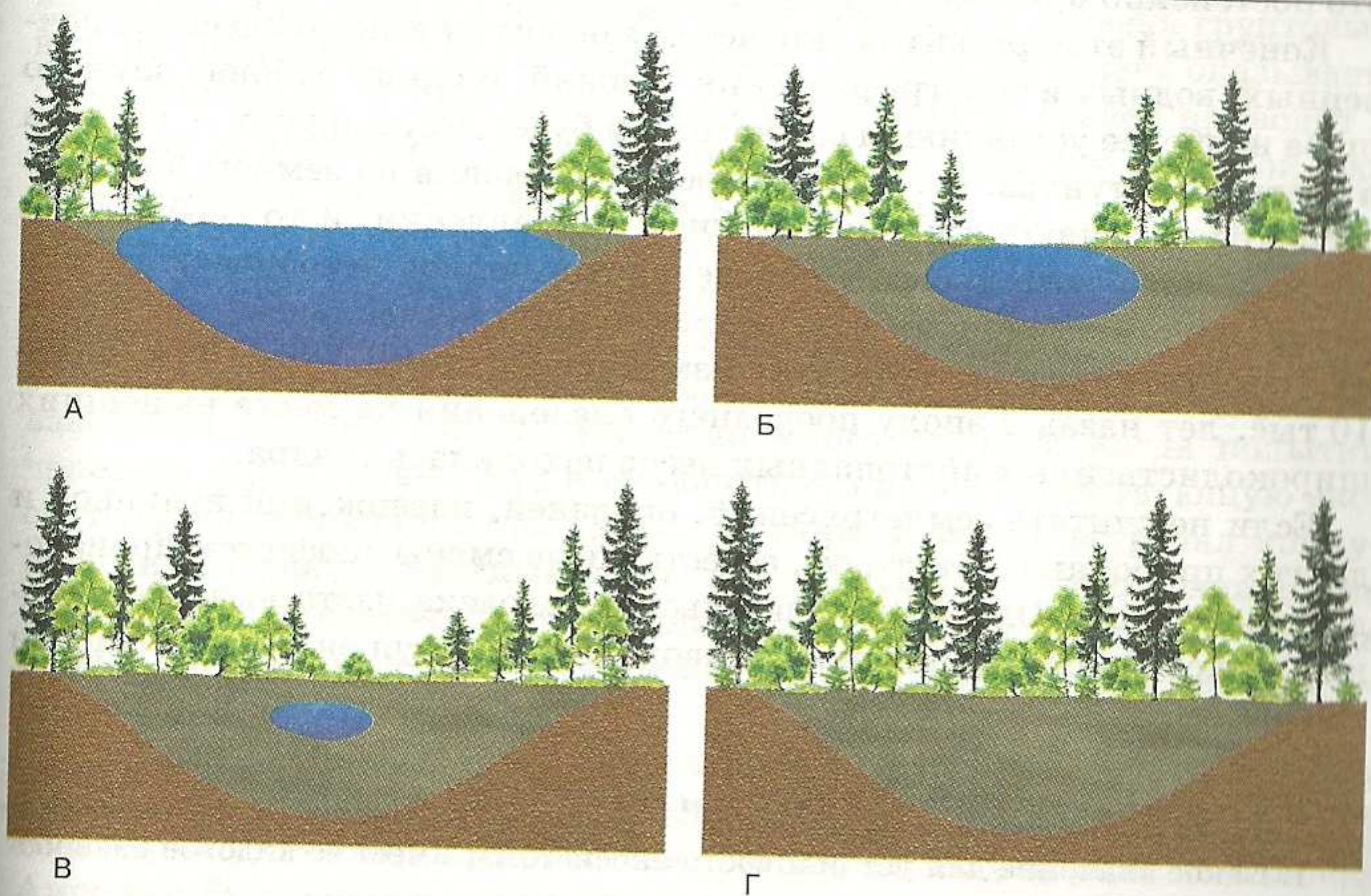


Рис. 166. Смена сообществ при зарастании водоема. Растительность продвигается от берегов к центру водной поверхности (А). Этот процесс продолжается, и озеро постепенно заполняется торфом (Б, В). После того как озеро полностью заполнится торфом, на его месте вырастает лес (Г)

Сначала по периметру озера образуется сплавина — сплошной ковер плавающих растений, которые, погибая, опускаются на дно водоема. В придонных слоях в условиях нехватки кислорода редуценты не успевают перерабатывать все отмирающие части растений и животные остатки. В результате образуются торфяные отложения, озеро постепенно мелеет и превращается в болото. В дальнейшем болото зарастает с краев, превращаясь в луг, а позднее в лес. Таким образом, полностью меняется видовой состав и растительной, и животной части экосистемы. На месте бывшего озера формируется экосистема леса.

Экосистемы всегда стремятся к сохранению равновесия, поэтому при смене экосистем каждая последующая стадия развития длительнее и устойчивее предыдущих.

В природе смены экосистем происходят постоянно и характеризуются определенными закономерностями: увеличивается видовое разнообразие, нарастает общая биомасса, усложняются цепи питания. Все это постепенно приводит к формированию стабильных сообществ.

Конечный этап развития экосистем зависит от климатических, почвенных, водных и топографических условий. В одних районах земного шара наиболее устойчивым сообществом будет лес, в других — степь, а в третьих — тундра. С течением времени условия на земном шаре постепенно изменяются в том или ином направлении, и то сообщество, которое было стабильным в определенный период исторического развития, спустя тысячи лет уступит место иному стабильному сообществу, чья структура соответствует изменившимся условиям. Так, более 10 тыс. лет назад в эпоху последнего оледенения на месте нынешних широколиственных листопадных лесов находилась тундра.

Если не считать землетрясений, оползней, извержений вулканов и других природных катастроф, естественные смены экосистем происходят постепенно. Однако вмешательство человека часто вызывает резкие и глобальные изменения, приводящие к нарушениям или гибели экосистем.

Вопросы для повторения и задания

1. Какое значение для устойчивости экосистемы имеет ее видовое разнообразие?
2. Что такое равновесное состояние экосистемы?
3. Приведите примеры быстрой смены экосистем.
4. От чего зависит конечный этап развития экосистемы?

5.7. Влияние человека на экосистемы

Вспомните!

Приведите примеры негативного и позитивного влияния человека на окружающую среду.

Что такое агроценозы?

Экологические нарушения. Внезапные изменения в естественных экосистемах, которые вызывают резкое увеличение численности популяции одних видов и гибель других, называют **экологическим нарушением**. Как правило, подобные явления происходят при необдуманных действиях человека.

Сброс сточных вод, богатых органическими веществами или минеральными соединениями в естественные водоемы, вызывает бурный рост некоторых водорослей, что приводит к быстрому зарастанию этих водоемов. В результате осушения болот снижается уровень грунтовых вод, что приводит к гибели экосистемы, чей водный баланс оказывается нарушенным. Широкомасштабное распахиwanie степей приводит к полному уничтожению плодородного слоя в результате ветровой эрозии и к гибели уникальных степных сообществ.

В природе на протяжении тысячелетий в процессе совместной эволюции устанавливается равновесие между конкурирующими видами. Привезенные человеком виды, которые занимали аналогичные экологические ниши в других экосистемах, могут не вписаться в сформировавшуюся систему связей. Известно много случаев, когда попытки человека внести новый вид и включить его в уже существующую экосистему, оканчивались трагедией. Вид-пришелец не встречал конкуренции со стороны местных видов или в новых для него условиях не оказывалось достаточно врагов для поддержания его численности на определенном уровне. В результате пришельцы вытесняли местные — аборигенные виды.

Мощная лиана пуэрария, привезенная в США для борьбы с эрозией почвы, победила в борьбе за существование местные виды и разрослась так, что опутала все окрестные леса. В 1884 г. во Флориду из Южной Америки был завезен в качестве декоративного растения водный гиацинт, который, попав в местные водоемы и не встретив там естественных врагов, разросся так, что затруднил судоходство во многих реках и озерах штата.

Классическим примером необдуманных действий человечества, которые привели к глобальным нарушениям естественных экосистем, служит завоз кроликов в Австралию.

В 1859 г. из Англии на австралийский континент для спортивной охоты завезли кроликов. Природные условия для них оказались весьма благоприятными, а местные хищники — дикие собаки динго — бегали не достаточно быстро, чтобы поймать быстрых пришельцев. В результате, спустя несколько лет, кролики расплодились настолько, что уничтожили растительность местных пастбищ. Для уничтожения кроликов в Австралию были завезены лисы, которые не оправдали возлагаемых на них надежд. Они нашли гораздо более легкую добычу — местных сумчатых. В результате с кроликами удалось справиться только спустя долгое время, обнаружив паразита, который вызывал их гибель.

Агроценозы. В результате хозяйственной деятельности человек создает *искусственные экосистемы* — агроценозы: пастбища, поля, парки, сады (рис. 167). Растет количество искусственных экологических систем и в промышленности: комплексы биологической очистки сточных вод, биотехнологические производства.

В отличие от природных экосистем, которые являются самоподдерживающимися и саморегулирующимися системами, искусственные



Рис. 167. Агроценоз

экосистемы регулируются человеком. Рассмотрим особенности существования агроценозов.

В природных экосистемах существует богатое видовое разнообразие, которое формируется в течение длительного времени. В агроценозах (садах, теплицах, полях) растения представлены, как правило, одним видом, а точнее тем сортом сельскохозяйственной культуры, которая посажена человеком. Если структура природных сообществ формируется в результате действия естественного отбора, то в агроценозах отбор осуществляет человек, уничтожая все остальные ненужные ему виды (сорняки, насекомых-вредителей и др.).

В естественных экосистемах постоянный круговорот веществ и энергии позволяет сохранять баланс, что обеспечивает системе устойчивость. В процессе существования агроценоза человек изымает из него часть продукции (собирает урожай), поэтому равновесие в этой искусственной системе может быть достигнуто только в том случае, если происходит компенсация изъятых из агроценоза энергии и вещества. Внесение минеральных и органических удобрений, вспашка, полив, прополка, борьба с вредителями — это обязательные действия, без которых агроценоз как система, не способная к самостоятельному существованию, очень быстро погибнет. Хорошо известно, как быстро зарастают поля и пашни, снижают урожайность и вкусовые качества плодов заброшенные сады, парки превращаются в непроходимые заросли.

Современное мировое земледелие, основанное на использовании очень малого количества видов, чрезвычайно нестабильно. Необходимо увеличивать разнообразие сельскохозяйственных культур, применять методы биологической борьбы с вредителями и сорняками. Для рационального использования природных ресурсов необходимо детально знать особенности биологии и экологии всех компонентов используемых экосистем.

Вопросы для повторения и задания

1. Сформулируйте, что такое экологическое нарушение. Приведите примеры подобных явлений.
2. Чем отличаются агроценозы от естественных экосистем? Назовите известные вам агроценозы.
3. Как, по вашему мнению, можно сократить потери энергии в цепях питания в искусственном сообществе организмов — агроценозе?
4. Какая экосистема — естественная или искусственная — характеризуется большим видовым разнообразием?

5.8. Биосфера — глобальная экосистема

Вспомните!

Какие вам известны уровни организации живой природы?

Что такое биосфера?

Каковы ее границы?

Многочисленные экосистемы нашей планеты не изолированы друг от друга. Даже между очень разными сообществами происходит постоянный обмен живыми организмами, органическими и неорганическими веществами. Одни и те же виды растений, животных, грибов и микроорганизмов можно встретить в разных экосистемах, а некоторые виды, например перелетные птицы, в зависимости от сезона мигрируют между ними. Процессы, происходящие в одной экосистеме, неизбежно затрагивают события в другой экосистеме. Частицы почвы смываются с поверхности суши и попадают в водоемы; головастик, живущий в пруду, превращается в лягушку, которая становится добычей лесного ежа; бурый медведь во время нереста лосося полностью переходит на рыбную диету и большую часть времени проводит среди бурных речных потоков.

Все экосистемы взаимосвязаны и взаимозависимы. Постоянный обмен веществом и энергией, происходящий между ними, позволяет нам рассматривать все живые организмы Земли и среду их обитания как единую глобальную экосистему — биосферу.

Первые представления о биосфере как «области жизни» принадлежат еще Ж. Б. Ламарку. Термин «биосфера» в 1875 г. предложил австрийский ученый Эдуард Зюсс. Он определял биосферу как тонкую пленку жизни на земной поверхности, которая в значительной степени определяет облик всей планеты. Однако широкое распространение этот термин получил в первой трети XX в., когда российский академик В. И. Вернадский создал *учение о биосфере*. Он распространил понятие биосферы не только на живые организмы, но и на среду их обитания, с которой они составляют неразрывное единство. Вернадский впервые указал на роль живой природы в преобразовании планеты.

Состав биосферы. *Биосфера — это особая оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой определяются совокупной деятельностью всех живых организмов.*

Биосфера Земли состоит из нескольких взаимосвязанных типов сообщества:

— *живое вещество* — совокупность всех живых организмов (животных, растений, грибов, микроорганизмов);

— *биогенное вещество* — органоминеральные продукты, созданные в результате жизнедеятельности организмов (нефть, каменный уголь, газ, торф, известняки и др.);

— *косное вещество* — вещество, которое образуется без участия живых организмов (горные породы, сформированные в результате извержения вулканов);

— *биокосное вещество* — создается одновременно живыми организмами и процессами неорганической природы (почва, ил).

Границы биосферы. Границы распространения живого на планете определяются абиотическими факторами (рис. 168). Отсутствие кислорода, высокая или низкая температура, высокое давление и многие другие условия делают невозможным существование жизни.

Верхняя граница биосферы проходит на высоте около 20 км от поверхности Земли и определяется озоновым слоем, который задерживает ультрафиолетовое излучение. На высоте 16—20 км в атмосфере встречаются споры, пыльца, бактерии, мельчайшие насекомые, которые поднимаются с поверхности воздушными потоками. В гидросфере жизнь существует на всех глубинах, проникая даже, несмотря на чудовищное давление, в 10—11-километровые впадины. В литосфере жизнь встречается до глубины 3,5 км на суше (бактерии в нефтяных месторождениях) и на 1—2 км ниже дна океана, хотя результаты жизнедеятельности организмов в виде осадочных пород прослеживаются гораздо глубже. В основном в литосфере жизнь сосредоточена в верхнем плодородном слое — почве, толщина которой не превышает нескольких метров и которая является биокосным веществом биосферы.

Живое вещество биосферы. В пределах биосферы живое вещество распределено очень неравномерно. В верхних слоях атмосферы, в глубинах океана, в многокилометровой толще литосферы живые организмы встречаются редко. Основная жизнь сосредоточена на поверхности Земли, в верхних слоях морей и океанов, в почве.

Биомасса на земном шаре увеличивается от полюсов к экватору, что связано в первую очередь с климатическими факторами. Наиболее продуктивны те экосистемы, которые максимально обеспечены теплом и влагой. Места наибольшей концентрации жизни на планете — это тропические леса, дельты рек в районах с жарким климатом, мелководные зоны морей, коралловые рифы. Здесь наблюдается также и максимальное видовое разнообразие.

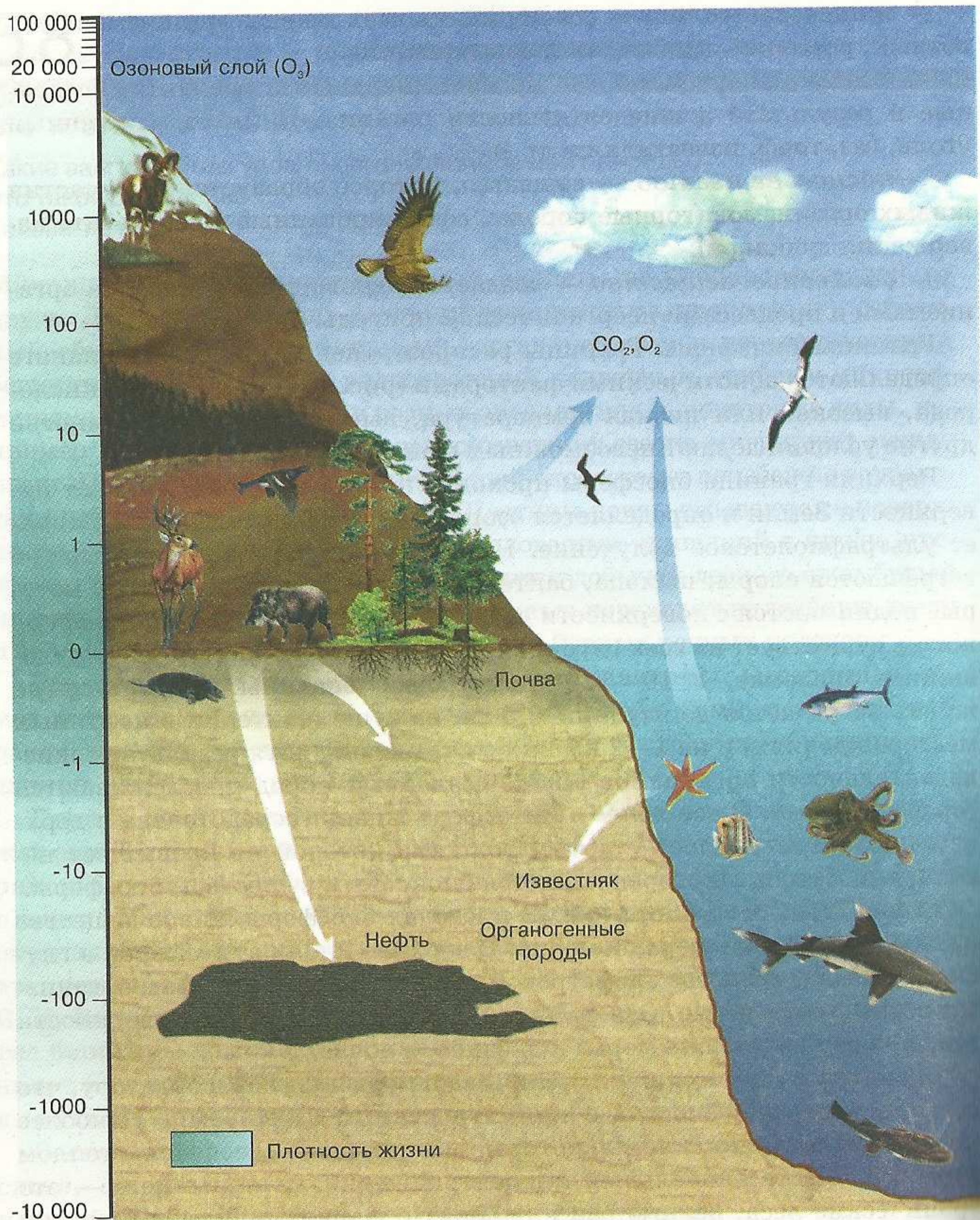


Рис. 168. Границы биосферы

В настоящее время общую массу живых организмов оценивают в $2,43 \times 10^{12}$ т. Биомасса организмов, обитающих на суше, на 99,2% представлена растениями, на 0,8% — животными, грибами и микроорганизмами. В Мировом океане существует обратная закономерность: 93,7% биомассы приходится на долю животных и 6,3% — на долю растений и микроорганизмов. В видовом разнообразии биосферы существует интересная закономерность: 96% видов животных — беспозвоночные, 4% — позвоночные, из которых лишь десятая часть — млекопитающие, т. е. преобладают формы, стоящие на более низком уровне развития. Ежегодная продукция живого вещества в биосфере составляет более 230 млрд т сухого органического вещества.

Масса живого вещества составляет всего 0,01—0,02% от косного вещества биосферы, однако в геохимических процессах Земли живые существа играют ведущую роль.

Вопросы для повторения и задания

1. Расскажите о структуре биосферы.
2. Охарактеризуйте оболочки Земли, в которых обитают живые организмы, — атмосферу, гидросферу и литосферу.
3. Чем определяются границы распространения живых организмов в биосфере?
4. Как формируется биокосное вещество биосферы?
5. Охарактеризуйте распределение биомассы на земном шаре.

5.9. Роль живых организмов в биосфере

Вспомните!

Какое вещество В. И. Вернадский называл живым? Косным?
Что называют круговоротом веществ в природе?

Роль живого вещества в биосфере. Основное внимание в учении о биосфере В. И. Вернадский уделял роли живого вещества. Ученый писал: «Живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, являются огромной геологической силой, ее определяющей». Благодаря способности к росту, размножению и расселению, в результате обмена веществ и преоб-

разования энергии живые организмы способствуют миграции химических элементов в биосфере. В. И. Вернадский сравнивал массовые миграции животных, например стаи саранчи, по масштабам переноса химических элементов с перемещением целого горного массива.

В живой природе обнаружено около 90 химических элементов, т. е. большая часть всех известных на сегодняшний день. Нет никаких специальных элементов, характерных только для живых организмов, поэтому за всю историю существования биосферы атомы большинства элементов, входящих в ее состав, неоднократно прошли через тела живых организмов. Между органическим и неорганическим веществом на планете существует неразрывная связь, совершаются постоянный круговорот веществ и превращение энергии.

Около 2 млрд лет назад благодаря деятельности фотосинтезирующих организмов в атмосфере Земли началось накопление свободного кислорода, затем сформировался озоновый экран, защищающий все живое от космической и солнечной радиации. На протяжении всей биологической

истории Земли деятельность организмов определяла состав атмосферы (фотосинтез, дыхание), состав и структуру почв (деятельность редуцентов), содержание различных веществ в водной среде. Продукты метаболизма одних организмов, попадая в окружающую среду, использовались и перерабатывались другими организмами. Благодаря редуцентам в круговорот веществ включались растительные и животные остатки.

Многие организмы способны избирательно поглощать и накапливать различные химические элементы в виде органических и неорганических соединений. Например, хвощи аккумулируют из окружающей среды кремний, губки и некоторые водоросли — иод. В результате деятельности разных бактерий образованы многие

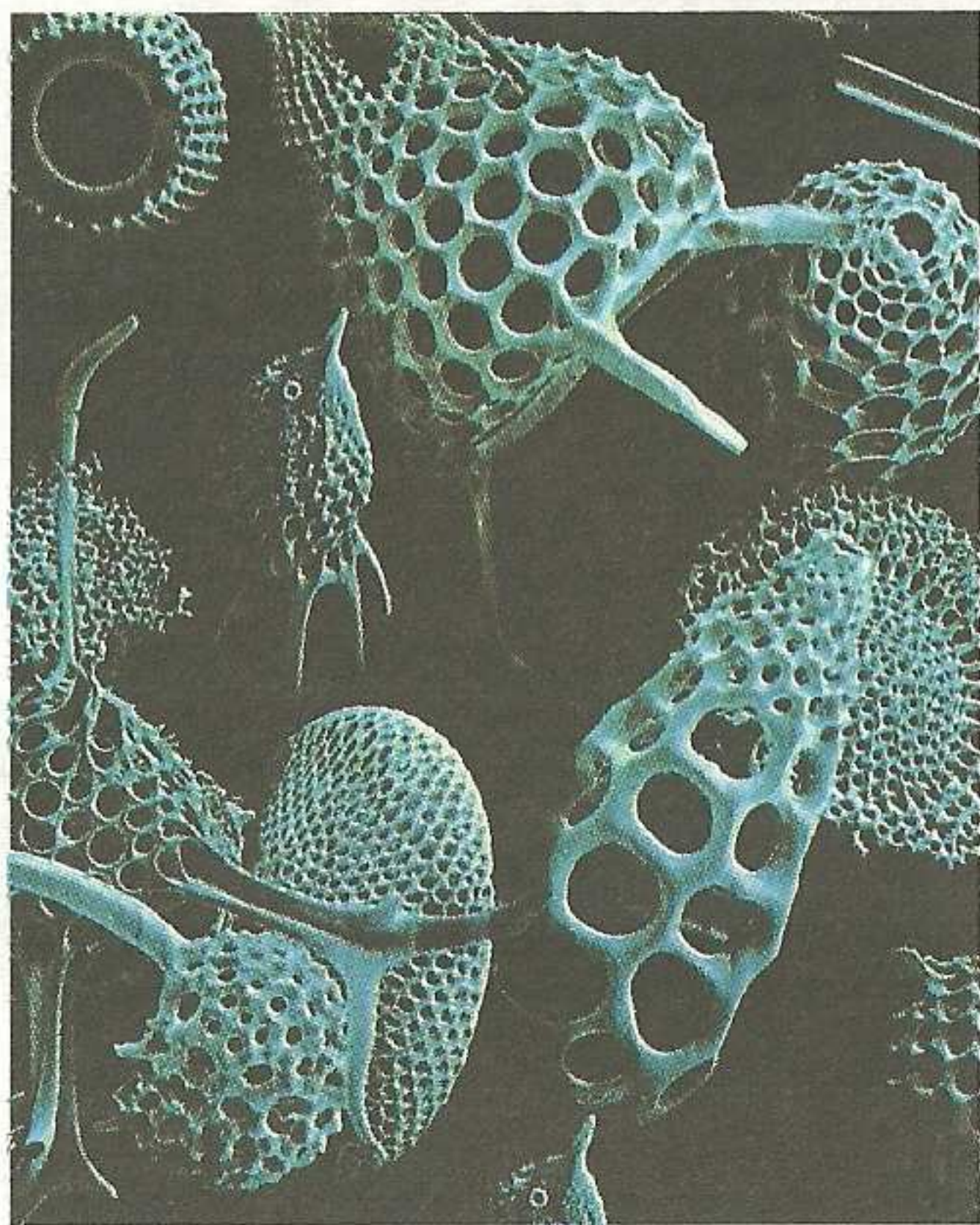


Рис. 169. Раковины одноклеточных организмов под сканирующим электронным микроскопом (увел. $\times 2000$)

месторождения серы, железных и марганцевых руд. Из тел ископаемых растений и планктонных организмов сформировались залежи каменного угля и запасы нефти. Скелеты мелких планктонных водорослей и раковин морских простейших сложились в гигантские толщи известняковых пород (рис. 169).

Особую роль в биосфере играют микроорганизмы. Не будь их, круговорот веществ и энергии не смог бы осуществляться и поверхность планеты была бы покрыта толстым слоем растительных остатков и трупов животных.

Лишайники, грибы и бактерии активно участвуют в разрушении горных пород. Их работу поддерживают растения, чьи корневые системы прорастают в мельчайшие трещины. Завершают этот процесс вода и ветер.

Кроме деятельности живых организмов на состояние нашей планеты влияют и другие процессы. Во время вулканических извержений в атмосферу выбрасывается огромное количество различных газов, частички вулканического пепла, изливаются потоки расплавленных магматических пород. В результате тектонических процессов образуются новые острова, меняют облик горные районы, океан наступает на сушу.

Круговорот воды. Особое значение для существования биосферы имеет круговорот воды (рис. 170). С поверхности океанов испаряется

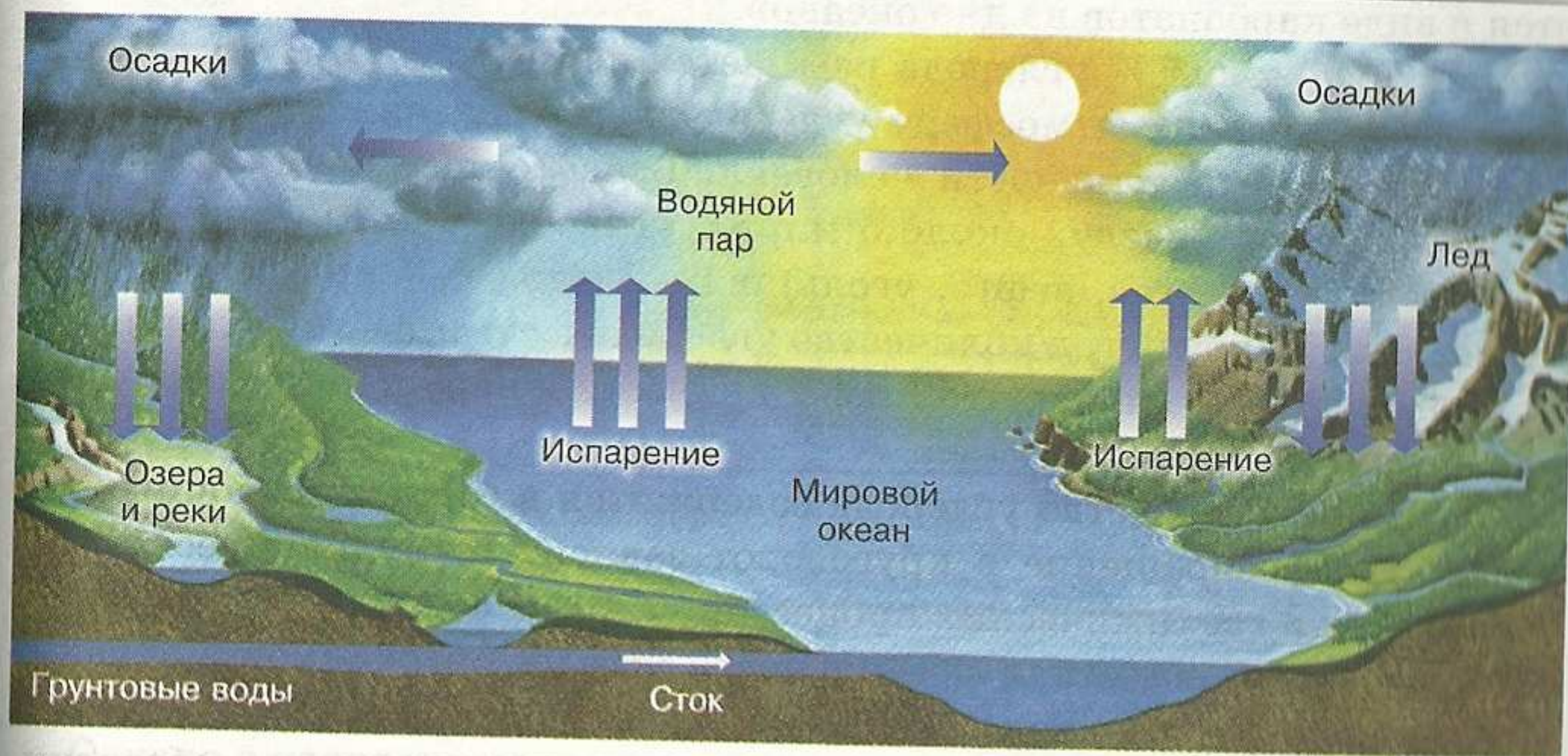


Рис. 170. Круговорот воды в биосфере

огромная масса воды, которая частично переносится ветрами в виде пара и выпадает в виде осадков над сушей. Обратно в океан вода возвращается через реки и грунтовые воды. Однако важнейшим участником циркуляции воды является живое вещество.

В процессе жизнедеятельности растения поглощают из почвы и испаряют в атмосферу огромное количество воды. Так, участок поля, который за сезон дает урожай массой в 2 т, потребляет около 200 т воды. В экваториальных районах земного шара леса, задерживая и испаряя воду, значительно смягчают климат. Сокращение площади этих лесов может привести к изменению климата и засухам в прилегающих районах.

Круговорот углерода. Углерод входит в состав всех органических веществ, поэтому его круговорот полностью зависит от жизнедеятельности организмов (рис. 171). В процессе фотосинтеза растения поглощают углекислый газ (CO_2) и включают углерод в состав синтезируемых органических соединений. В процессе дыхания животные, растения и микроорганизмы выделяют углекислый газ, и углерод, ранее входящий в состав органических веществ, вновь возвращается в атмосферу.

Углерод, растворенный в морях и океанах в виде угольной кислоты (H_2CO_3) и ее ионов, используется организмами для формирования скелета, состоящего из карбонатов кальция (губки, моллюски, кишечно-полостные). Причем ежегодно громадное количество углерода осаждается в виде карбонатов на дно океанов.

На суше около 1% углерода изымается из круговорота, откладываясь в виде торфа. В атмосферу углерод поступает также в результате хозяйственной деятельности человека. В настоящее время ежегодно выбрасывается в воздух около 5 млрд т углерода при сжигании ископаемого топлива (газ, нефть, уголь) и 1—2 млрд т — при переработке древесины. Каждый год количество углерода в атмосфере увеличивается примерно на 3 млрд т, что может привести к нарушению устойчивого состояния биосферы.

Огромное количество углерода содержится в горных осадочных породах. Его возвращение в круговорот зависит от вулканической деятельности и геохимических процессов.

Ноосфера. Совместная деятельность живых организмов в течение миллиардов лет создавала, а в дальнейшем поддерживала определенные условия, необходимые для существования жизни, т. е. обеспечивала гомеостаз биосферы. В. И. Вернадский писал: «На земной поверх-

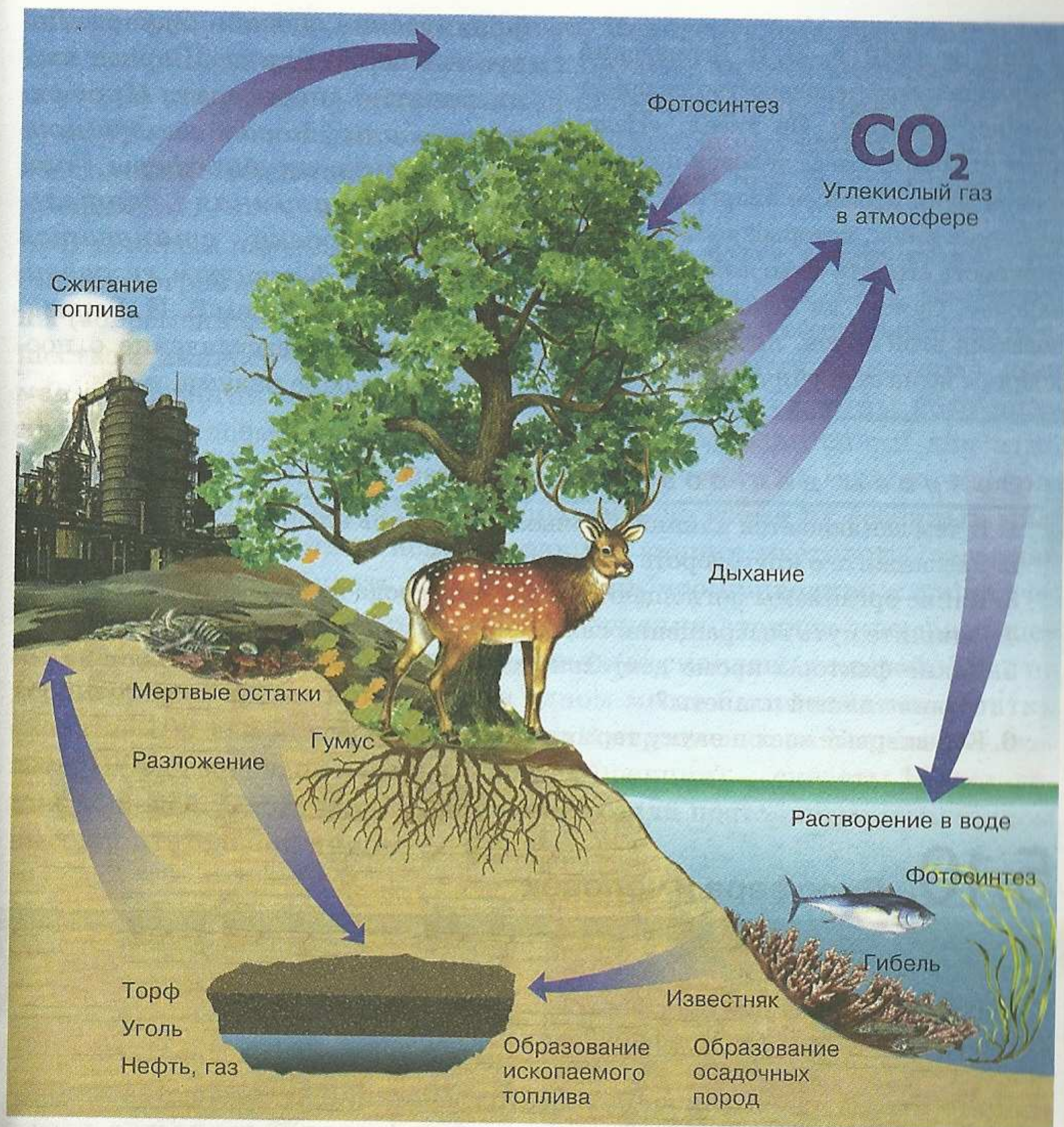


Рис. 171. Круговорот углерода в биосфере

ности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим последствиям, чем живые организмы, взятые в целом».

Однако с появлением человека в развитии биосферы все большее значение постепенно приобретал новый фактор — антропогенный. В 1927 г.

■ Еще в 1922 г. В. И. Вернадский предвидел, что человечество овладеет атомной энергией. Он писал: «Недалеко то время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение?»

французские ученые Эдуард Леруа и Пьер Тейяр де Шарден ввели понятие «ноосфера». *Ноосфера — это новое эволюционное состояние биосферы, при котором разумная деятельность человека становится решающим фактором ее развития.* В дальнейшем В. И. Вернадский развил представление о ноосфере как сфере разума. ■

Вопросы для повторения и задания

1. В чем заключается влияние живых организмов на биосферу?
2. Расскажите о круговороте воды в природе.
3. Какие организмы поглощают диоксид углерода из атмосферы?
4. Опишите путь возвращения связанного углерода в атмосферу.
5. Какие факторы кроме деятельности живых организмов влияют на состояние нашей планеты?
6. Кто впервые ввел в науку термин «ноосфера»?

5.10. Биосфера и человек

Вспомните!

Как протекала эволюция биосферы?
Какова роль человека в биосфере?

Ранние этапы развития человечества. Влияние человечества на биосферу началось в тот момент, когда люди перешли от собирательства к охоте и земледелию. По мнению ученых, уже в жизни питекантропов (древнейших людей) охота имела большое значение. На их стоянках, возраст которых составляет более 1 млн лет, находят кости крупных животных.

Примерно 55—30 тыс. лет назад в эпоху каменного века (палеолита) экономической основой человеческого общества была охота на крупных животных: оленя, шерстистого носорога, мамонта, лошадь, тура,

дикого быка, бизона и многих других. Неандертальцы (древние люди) уже имели десятки типов каменных орудий, которые использовали в качестве кинжалов и наконечников копий, для скобления и резания туш. Будучи искусными охотниками, они загоняли животных к обрывам и топям. Подобные действия были под силу только согласованному коллективу.

В верхнем палеолите охота стала гораздо более совершенной, что сыграло огромную роль в развитии человечества (рис. 172). Неоантропы (современные люди) изготавливали орудия из кости. Важным новшеством явилось создание копьеметалки, с помощью которой кроманьонцы могли метать копья в два раза дальше. Гарпуны позволяли эффективно добывать рыбу. Кроманьонцы изобрели силки для птиц и ловушки для зверей. Совершенствовалась охота на крупного зверя: северные олени и козероги преследовались во время их сезонных миграций. Приемы охоты с использованием знания местности (загонная охота) позволяли убивать зверей сотнями, что приводило к хищническому истреблению животных. При изучении стоянок кроманьонцев археологами были обнаружены громадные скопления костей. Так, на территории современной Чехии в одном месте были найдены остатки скелетов 100 мамонтов, в овраге около Амвросиевки на Украине — скелеты 1000 бизонов, а около г. Солютре (Франция) — скелеты 10 тыс. диких лошадей. Охота для кроманьонцев стала постоянным источником высокопитательной пищи.

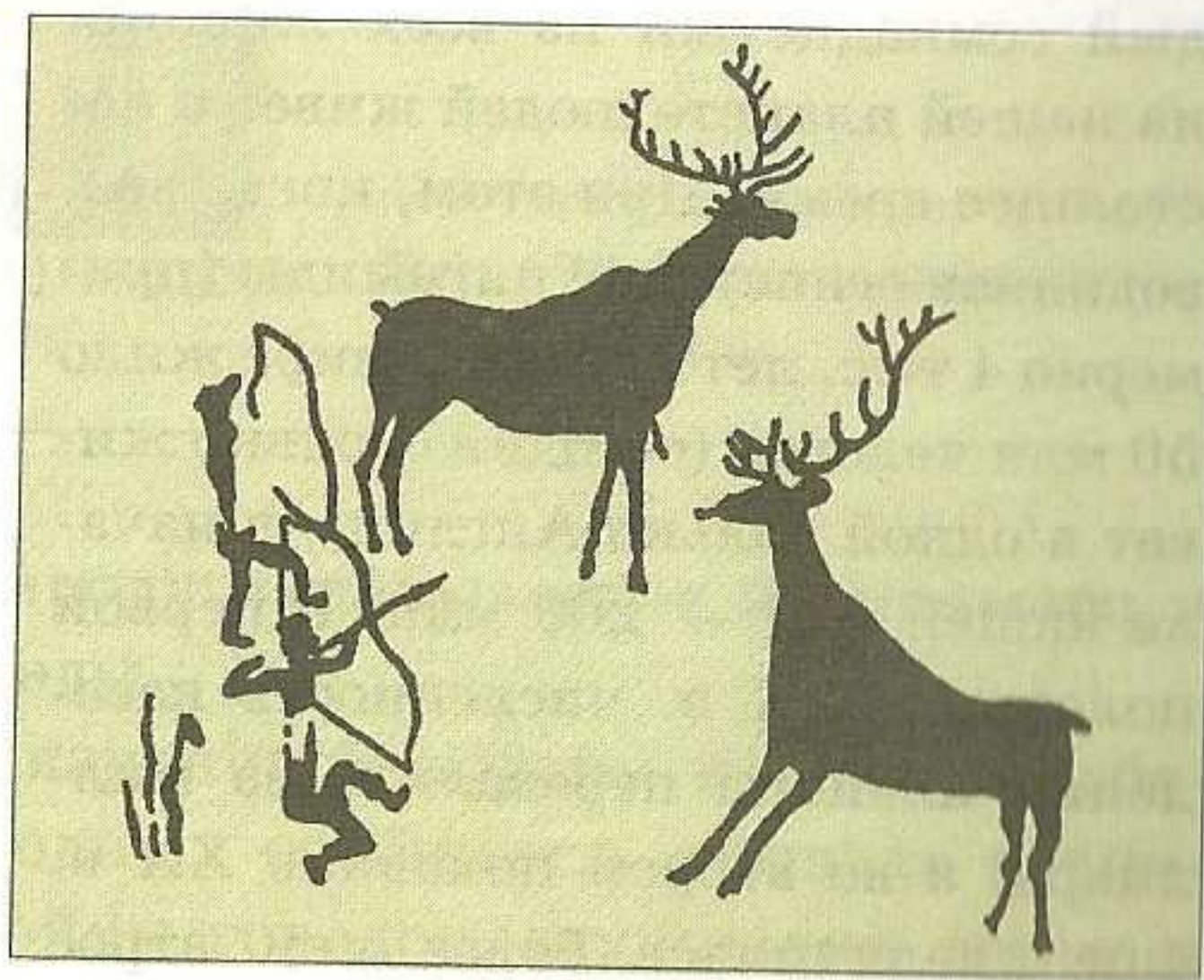
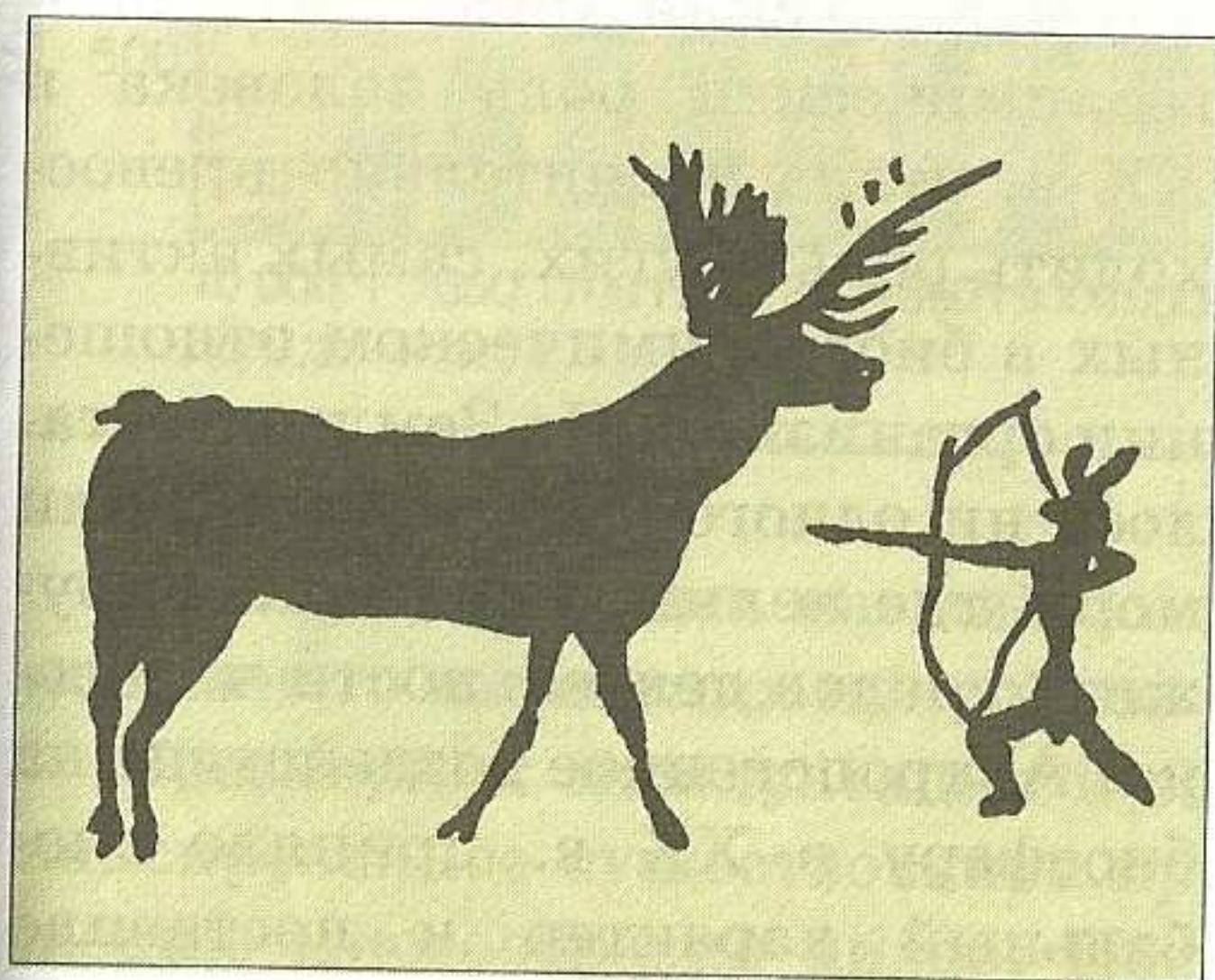


Рис. 172. Охота кроманьонцев. Наскальные рисунки из пещеры в Испании

Около 10 тыс. лет назад ледник отступил, наступило резкое потепление, в Европе на смену тундре пришли леса, вымерли многие крупные животные. Подобные изменения завершили определенный этап экономического развития человечества.

В следующую эпоху (новый каменный век) наряду с охотой, рыбной ловлей и собирательством все большее значение приобретает скотоводство и земледелие. Человек одомашнивает животных, разводит растения. Начинается освоение минеральных ресурсов, зарождается металлургия. Человечество все больше использует ресурсы биосферы для своих нужд.

С переходом к скотоводству и земледелию человек начал разрушать сложившиеся природные сообщества. Громадные стада домашних копытных выбивали растительность, и на смену степям и саваннам приходили полупустыни. Использование огня для уничтожения растительности и освобождения земли под посевы приводило к замене лесов саваннами. Однако эти разрушения сообществ еще не оказывали глобального воздействия на биосферу в целом.

Современная эпоха. За последние два столетия темпы развития общества резко ускорились. Значительно увеличилась численность населения планеты, выросло промышленное производство, все больше земли использовалось под сельскохозяйственные угодья. В развитии био-

■ Согласно подсчетам ученых, за все время существования человека на Земле жило около 100 млрд людей. Это значит, что примерно каждый семнадцатый из всех живших на нашей планете людей живет в настоящее время. При этом, когда возводились египетские пирамиды (примерно 4 тыс. лет назад), в мире жило 50 млн человек (сегодня столько живет в одной только Англии), в начале нашей эры — 200 млн. В первой половине XIX в. численность населения планеты перевалила за миллиард, а во второй половине XX в. еще увеличилась более чем втрое (рис. 173).

сферы наступил качественно новый этап, когда деятельность человека, преобразующая Землю, по своим масштабам стала соизмерима с геологическими процессами. Вернадский писал, что биогеохимическая роль человека в XX в. стала значительно превосходить роль других, самых активных в биогеохимическом отношении организмов. На Земле не осталось ни одного участка суши или моря, где нельзя было бы обнаружить следов деятельности человека. Антропогенное воздействие на биосферу в XX в. приняло глобальный характер и поставило под угрозу ее стабильное существование. ■

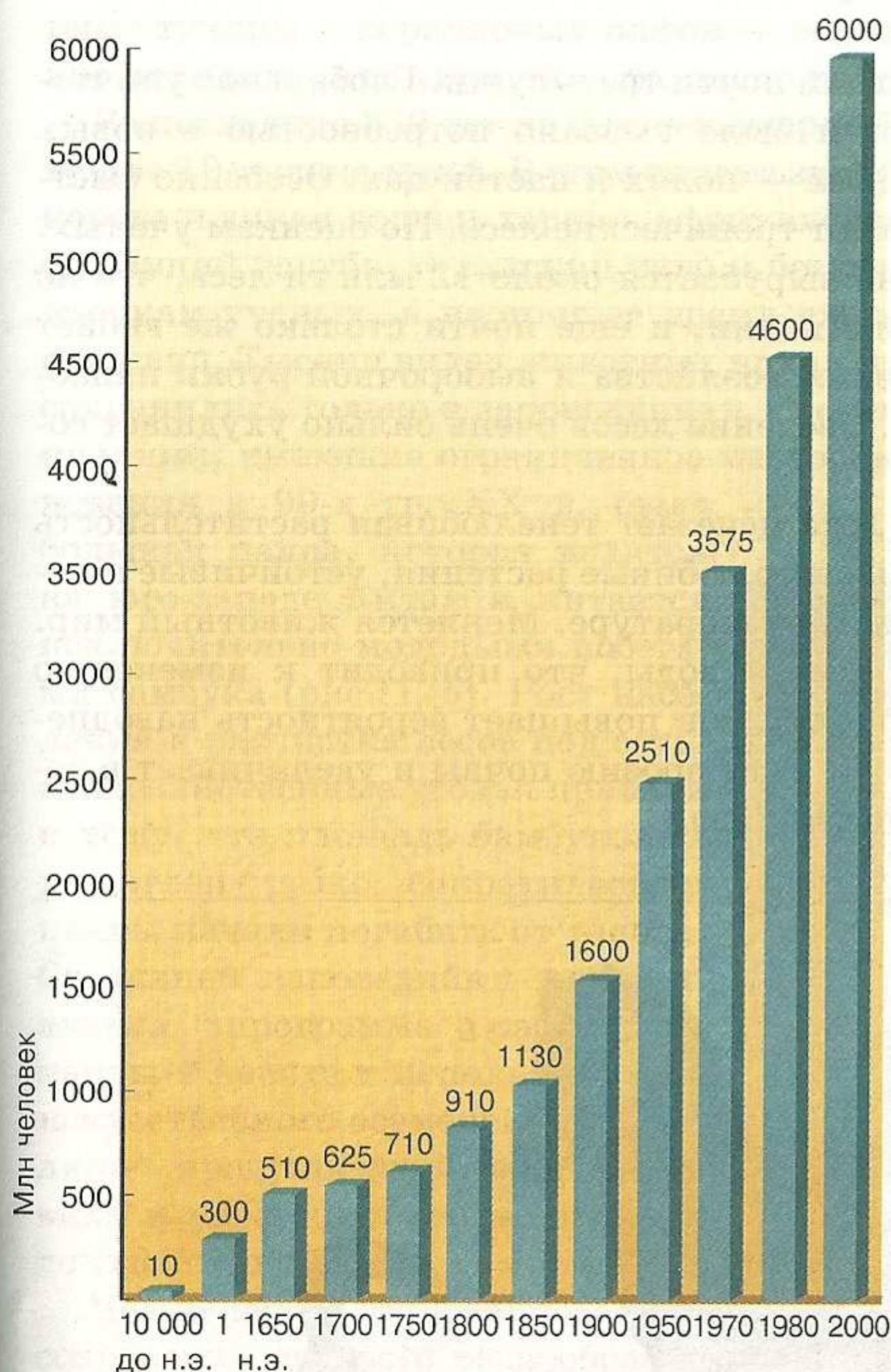


Рис. 173. Рост численности населения Земли

Влияние человека на живую природу складывается из прямого и косвенного изменения природной среды.

Чрезмерная эксплуатация и загрязнение биосферы нарушают сбалансированное существование природных сообществ, приводя к снижению многообразия видов. Постройки городов, прокладки дорог и туннелей, возведение плотин не направлены напрямую на уничтожение сложившихся экосистем, но оказывают серьезное влияние на при-

роду. Однако существует и прямое воздействие на живые организмы, например рубка леса.

Не так давно леса покрывали почти треть суши. Глобальное уничтожение лесной растительности было вызвано потребностью в новых сельскохозяйственных угодьях — полях и пастбищах. Особенно быстрыми темпами сейчас исчезают тропические леса. По оценкам ученых, в настоящее время ежегодно вырубается около 12 млн га леса, что по площади равно территории Англии, и еще почти столько же гибнет из-за нерационального ведения хозяйства и выборочной рубки наиболее ценных пород деревьев. Сведение лесов очень сильно ухудшает состояние биосферы в целом.

На месте вырубленного леса исчезает тенелюбивая растительность нижних ярусов, поселяются светолюбивые растения, устойчивые к недостатку влаги и повышенной температуре. Меняется животный мир. Усиливается поверхностный сток воды, что приводит к изменению гидрологического режима водоемов и повышает вероятность наводнений. Уничтожение лесов усиливает эрозию почвы и увеличивает в атмосфере количество углекислого газа.

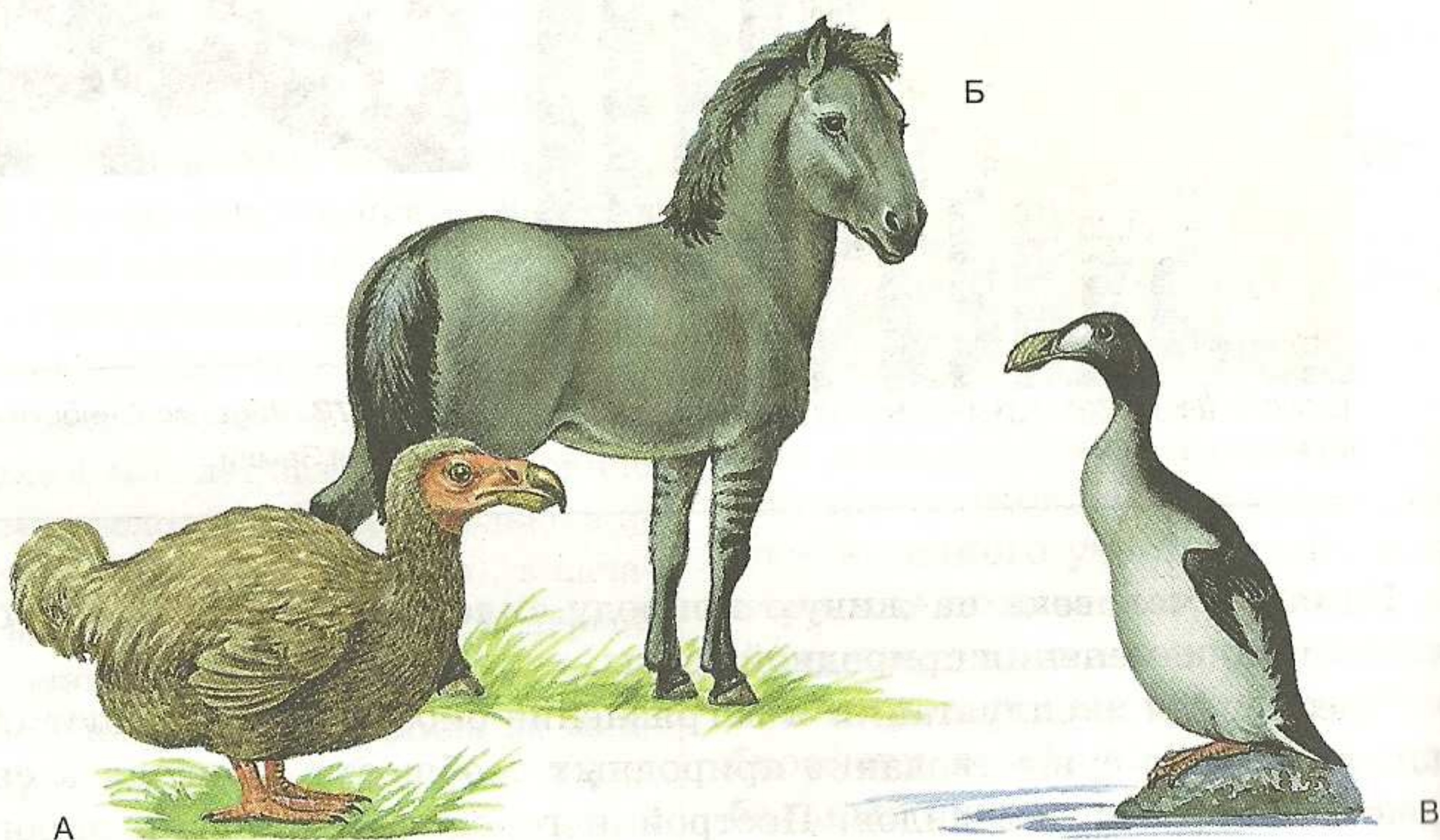


Рис. 174. Вымершие виды животных: А — дронт; Б — тарпан; В — бескрылая гагарка

Но исчезают не только леса. Степи Евразии и прерии США, экосистемы тундры и коралловых рифов — это сообщества, чье существование находится под угрозой, и их число растет с каждым годом.

За последние 300 лет на Земле вымерло больше видов, чем за предыдущие 10 тысячелетий. В этом списке значатся тур и дронг, стеллерова корова и дикая лошадь тарпан, африканская голубая антилопа и странствующий голубь, туранский тигр и бескрылая гагарка (рис. 174). По оценкам ученых, в настоящее время ежедневно в среднем вымирает один вид. Тысячи видов животных находятся на грани вымирания или сохранились только в заповедниках. Особенно уязвимы небольшие популяции, имеющие ограниченное местообитание. Так на грани исчезновения в 90-х гг. XX в. была большая панда, которая водится на юго-западе Китая и питается исключительно молодыми побегами бамбука (рис. 175). Рост населения и расчистка лесов под сельскохозяйственные угодья привели к тому, что площадь бамбуковых джунглей резко сократилась и панды начали погибать от голода. Созданные заповедники и специальная программа разведения панды в неволе с использованием искусственного осеменения позволили предупредить вымирание вида и увеличить его количество до тысячи особей.

Человечество заинтересовано в сохранении видового разнообразия не только с экологической точки зрения. Большинство людей признают этические и эстетические причины, которые порой трудно подкрепить объективными данными и аргументами. Существуют также и утилитарные причины.

Растительный рацион человечества на 95% обеспечивают всего

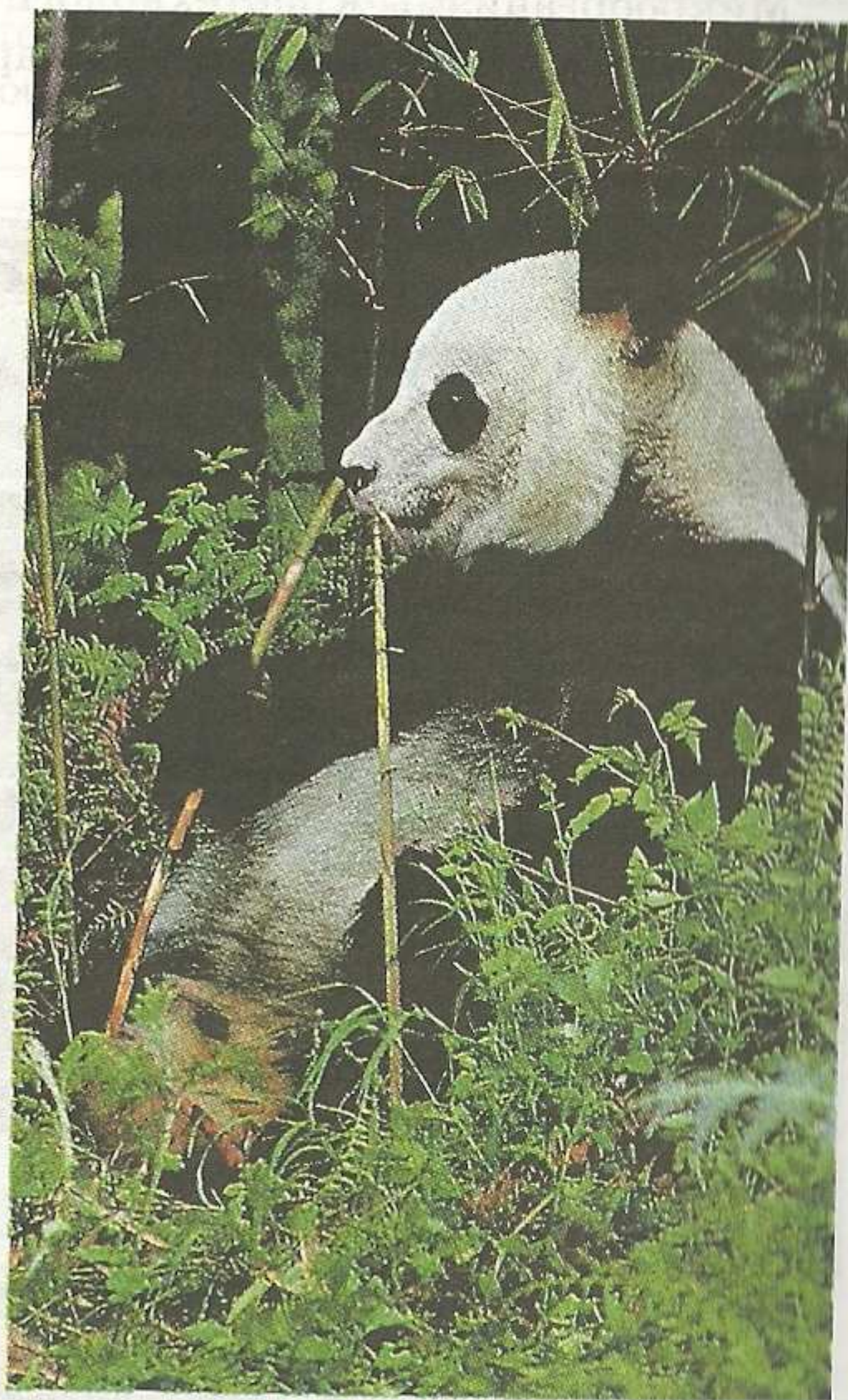


Рис. 175. Большая панда

около 30 из всех известных на сегодняшний день видов высших растений (рис. 176). Во многих развитых странах в сельском хозяйстве используется очень узкий набор сортов. В подобной ситуации изменение условий окружающей среды может вызвать резкое снижение урожайности, что будет иметь катастрофические последствия. Так, в 40-х гг. XIX в. распространение фитофторы (паразитического гриба) погубило почти полностью урожай картофеля в Ирландии, что привело к голоду в стране. Сохранение диких родичей культурных растений и домашних животных необходимо для устойчивого ведения сельского хозяйства. Существующее многообразие диких видов растений позволяет надеяться, что некоторые из них могут дать медицине новые, пока еще неизвестные, лекарственные препараты.

Микроорганизмы в биотехнологических процессах, растения — в качестве сырья для производства лекарственных препаратов, животные —

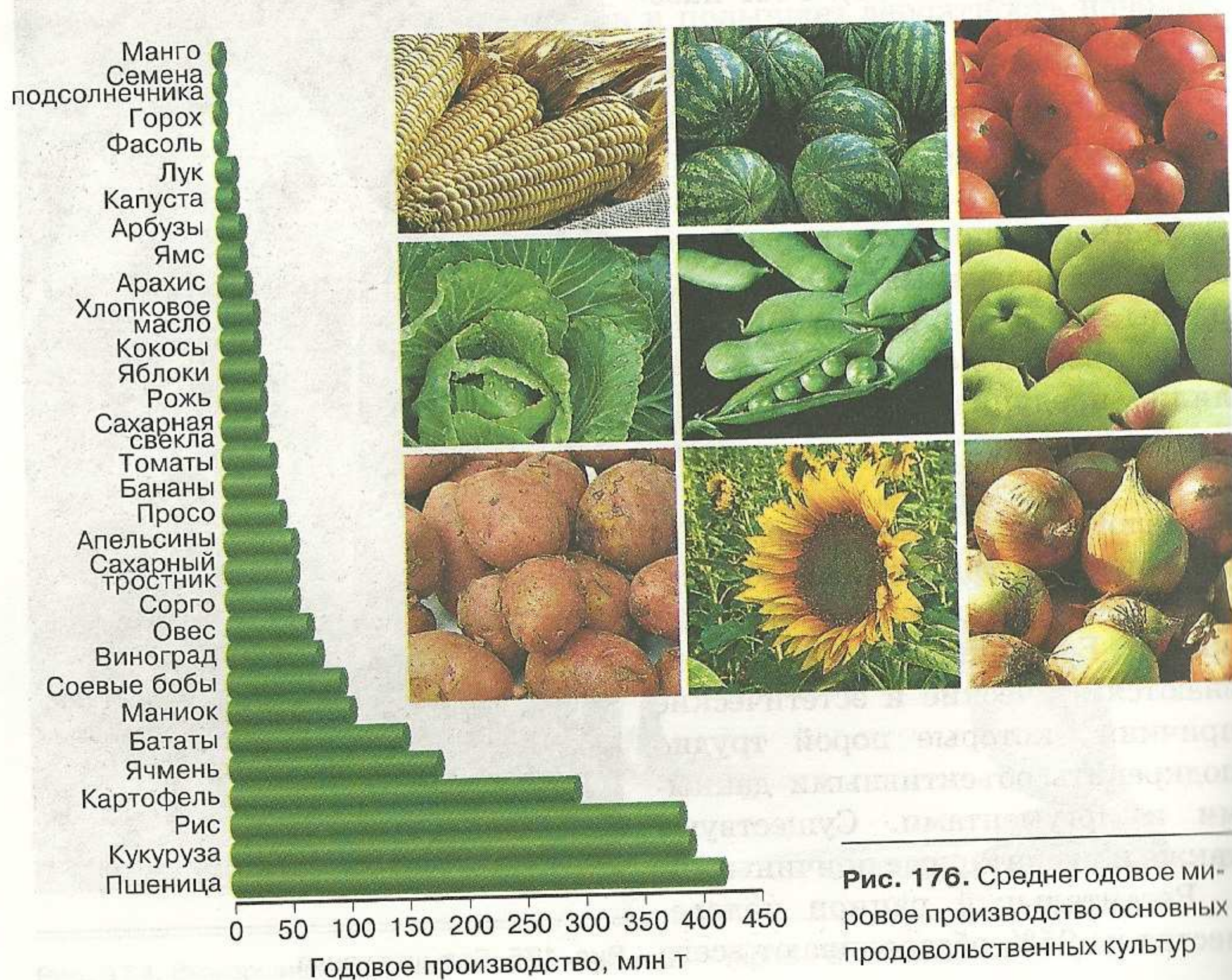


Рис. 176. Среднегодовое мировое производство основных продовольственных культур

в качестве лабораторных объектов — список можно продолжать бесконечно. На переработке растительного и животного сырья основаны многие современные промышленные производства.

Рыболовство и охота, лесное и сельское хозяйство — человечество прямо или косвенно использует все компоненты живой природы.

Большой урон природным экосистемам приносит чрезмерный промысел. В 5 раз за последние 50 лет вырос улов рыбы в Мировом океане (рис. 177). Промысел китобойного флота поставил на грань уничтожения серого, гренландского и голубого кита. Почти 150 видов млекопитающих являются объектами охоты на территории нашей страны.

Однако не только отлов животных во время промысла является причиной снижения численности того или иного вида. Сокращение кормовой базы, освоение человеком природных территорий, загрязнение окружающей среды ведут к истощению запасов ценных биологических ресурсов, вплоть до разрушения сообществ и вымирания видов.

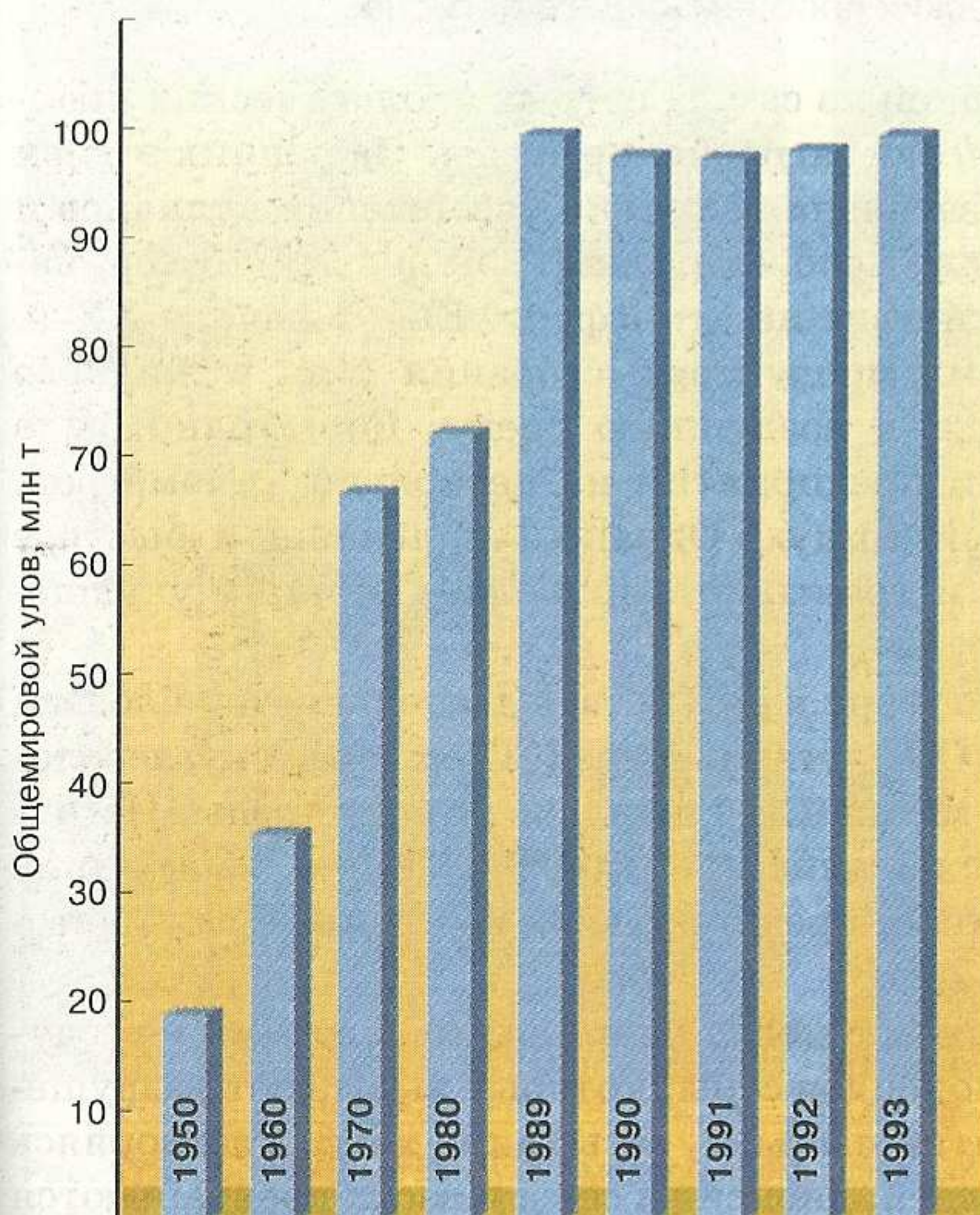


Рис. 177. Мировые уловы рыбы всех видов в период с 1950 по 1993 г.

Вопросы для повторения и задания

1. Как отражалась на окружающей среде деятельность первобытного человека?
2. К какому периоду развития человеческого общества относится зарождение сельскохозяйственного производства?
3. Назовите причины возможного возникновения недостатка воды в ряде районов мира.
4. Как сказывается на состоянии биосферы уничтожение лесов?

5.11. Основные экологические проблемы современности

Вспомните!

Какие глобальные экологические проблемы вам известны?
Приведите примеры экологических проблем вашего региона.

Загрязнение атмосферы. Одной из самых острых экологических проблем в настоящее время является загрязнение среды. На ранних этапах развития биосферы воздух загрязняли только извержения вулканов и лесные пожары, но как только человек развел свой первый костер, началось антропогенное воздействие на атмосферу. Еще в начале XX в. биосфера справлялась с теми продуктами сгорания угля и жидкого топлива, которые поступали в воздушную среду. Достаточно было отъехать от промышленных предприятий на несколько километров, чтобы почувствовать чистый воздух. Однако в дальнейшем быстрое развитие промышленности и транспорта привело к резкому ухудшению состояния атмосферы.

В настоящее время в атмосферу в результате деятельности человека поступают углекислый газ (CO_2), угарный газ (CO), хлорфторуглеводороды, оксиды серы и азота, метан (CH_4) и другие углеводороды. Источники этих загрязнений — сжигание природного топлива, выжигание лесов, выбросы промышленных предприятий и выхлопные газы автомобилей (рис. 178).

Кислотные дожди. Рядом с металлургическими заводами в воздухе высока концентрация диоксидов серы, которые вызывают разрушение хлорофилла, недоразвитие пыльцы, засыхание хвои. Растворяясь в капельках атмосферной влаги, диоксиды серы и азота превращаются

в соответствующие кислоты и выпадают на землю вместе с дождем. Почва приобретает кислую реакцию, в ней снижается количество минеральных солей. Попадая на листья, кислотные осадки разрушают защитную восковую пленку, что приводит к развитию заболеваний растений. Особенно чувствительны к изменению кислотности мелкие водные животные и икра, поэтому максимальный вред кислотные дожди причиняют водным экосистемам. В наиболее развитых промышленных районах кислотные дожди разрушают поверхность зданий, портят памятники скульптуры и архитектуры.

Парниковый эффект. Рост концентрации в атмосфере углекислого газа и метана создает так называемый парниковый эффект. Эти газы пропускают солнечный свет, но частично задерживают отраженное тепловое излучение от поверхности Земли. За последние 100 лет относительная концентрация углекислого газа в атмосфере повыси-

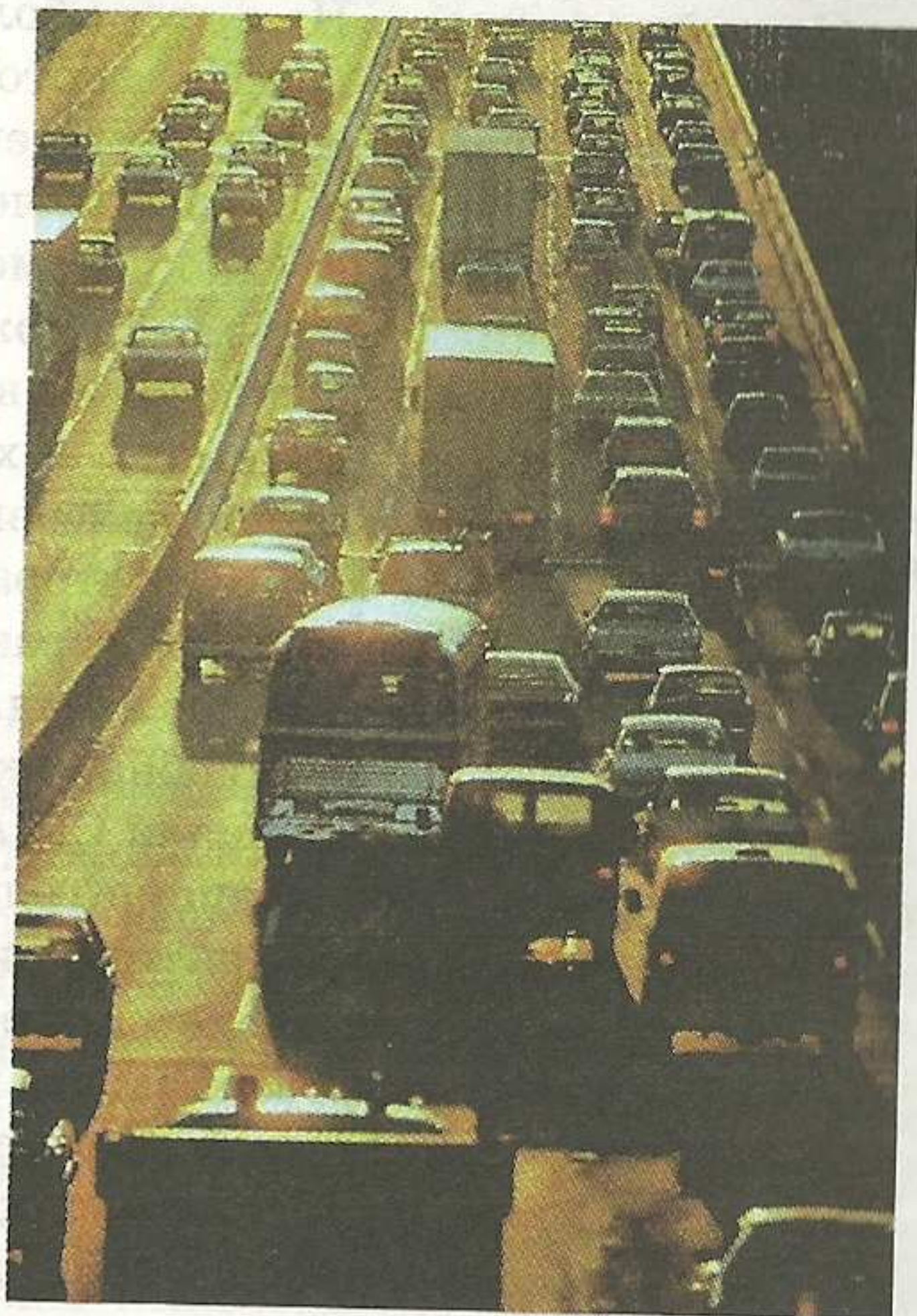
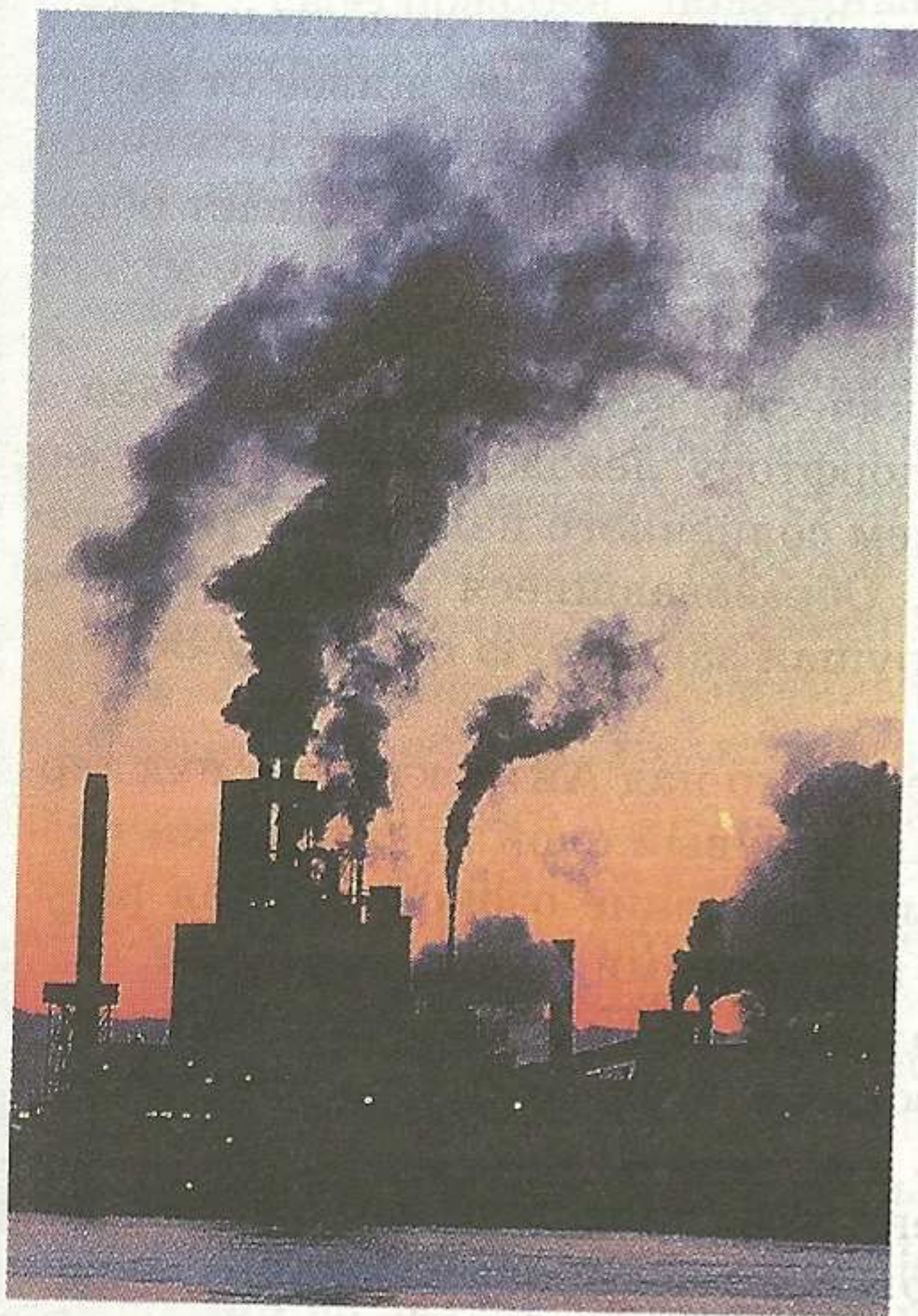


Рис. 178. Загрязнение воздуха: выбросы промышленных предприятий и выхлопные газы автомобильного транспорта

лась на 20%, а метана — на 100%, что привело к повышению температуры в среднем на планете на 0,5 °С. Если в ближайшие годы концентрация этих газов будет увеличиваться с такой же скоростью, к 2050 г. на Земле потеплеет еще на 2—5 °С. Такое потепление может привести к таянию ледников и повышению уровня Мирового океана почти на 1,5 м, что вызовет затопление многих населенных прибрежных районов.

Смог. Вещества, содержащиеся в выхлопных газах автомобилей, под действием солнечного света вступают в сложные химические реакции, образуя ядовитые соединения. Вместе с капельками воды они образуют ядовитый туман — смог, который вредно действует на организм человека и на растения.

Взвеси твердых частиц и капельки жидкостей (дымки и туманы) значительно снижают количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. В зимние месяцы в крупных городах ультрафиолетовое излучение значительно ослабевает.

Озоновые дыры. На высоте более 20 км над поверхностью Земли находится озоновый слой (O_3), который защищает все живое от избыточного ультрафиолетового излучения. Ультрафиолет определенного волнового диапазона полезен для человека, поскольку вызывает образование витамина D. Однако чрезмерное пребывание на солнце может привести к возникновению рака кожи.

Вещества, которые используют в качестве компонентов аэрозолей и хладагентов в холодильниках, — хлорфторуглеводороды — поднимаются в стратосферу, где под действием солнечного излучения разлагаются с выделением хлора и фтора. Образовавшиеся газы вызывают превращение озона в кислород, разрушая защитную оболочку Земли, возникшую около 2 млрд лет назад.

В 1987 г. впервые было обнаружено, что над Антарктидой, над территорией, равной по площади США, озоновый слой практически полностью исчез. В последующие годы истончение озонового слоя регулярно наблюдалось над Арктикой и некоторыми участками суши.

Загрязнение и перерасход природных вод. Пресная вода составляет менее 1% от всего мирового запаса воды, и человечество растрчивает и загрязняет это бесценное богатство. Рост населения, улучшение бытовых условий, развитие промышленности и орошаемого земледелия привело к тому, что *перерасход воды* стал одной из глобальных экологических проблем современности.

Целые реки разбираются на орошение и нужды больших городов, а вдоль их русла и в устье гибнут природные сообщества. Забор воды

для города Лос-Анджелес практически уничтожил реку Колорадо. То место, где она когда-то впадала в Калифорнийский залив, стало сухим руслом. Разбор воды рек Средней Азии привел к тому, что фактически перестало существовать Аральское море (рис. 179). Соль с его высохшего дна разносится ветром, вызывая засоление почв на многие сотни километров вокруг.

Веками грунтовые воды вымывали в недрах земли полости, своеобразные подземные водохранилища. Многочисленные родники, питающие реки и озера, — это места выхода грунтовых вод на поверхность. Перерасход грунтовых вод уменьшает количество родников и вызывает постепенное опускание поверхности суши, так называемую *просадку грунта*. Почва проваливается в образовавшиеся подземные пустоты, и если это происходит внезапно, то приводит к катастрофическим последствиям.

Не менее опасное явление — *загрязнение водоемов*. С полей и пастбищ в воду попадают органические вещества, минеральные удобрения, отходы животноводства, пестициды и гербициды (рис. 180). Канализационные стоки, которые сбрасывают в моря без предварительной очистки, создают угрозу здоровью людей. Из-за аварий танкеров и трубопроводов в океан ежегодно выливается огромное количество нефти — около 5 млн т. Сбросы промышленных предприятий, поверхностные стоки со свалок часто загрязнены тяжелыми металлами и синтетическими органическими веществами. Соли тяжелых металлов (свинца, ртути, меди, цинка, хрома, кадмия и др.) вызывают у человека отрав-

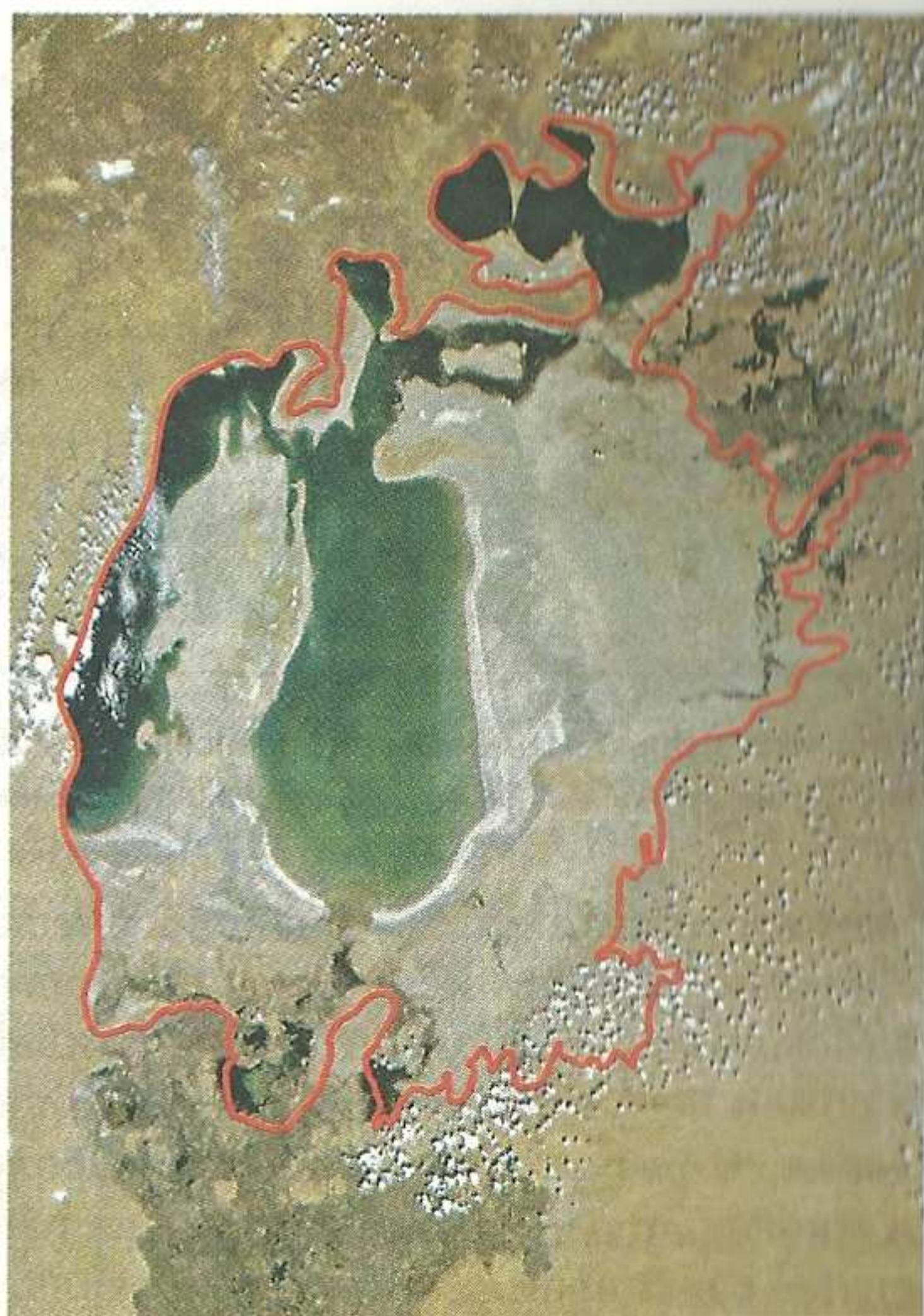


Рис. 179. Уменьшение акватории Аральского моря. Спутниковая съемка, сделанная летом 2002 г. Красной линией показана граница воды по состоянию на 1960 г.

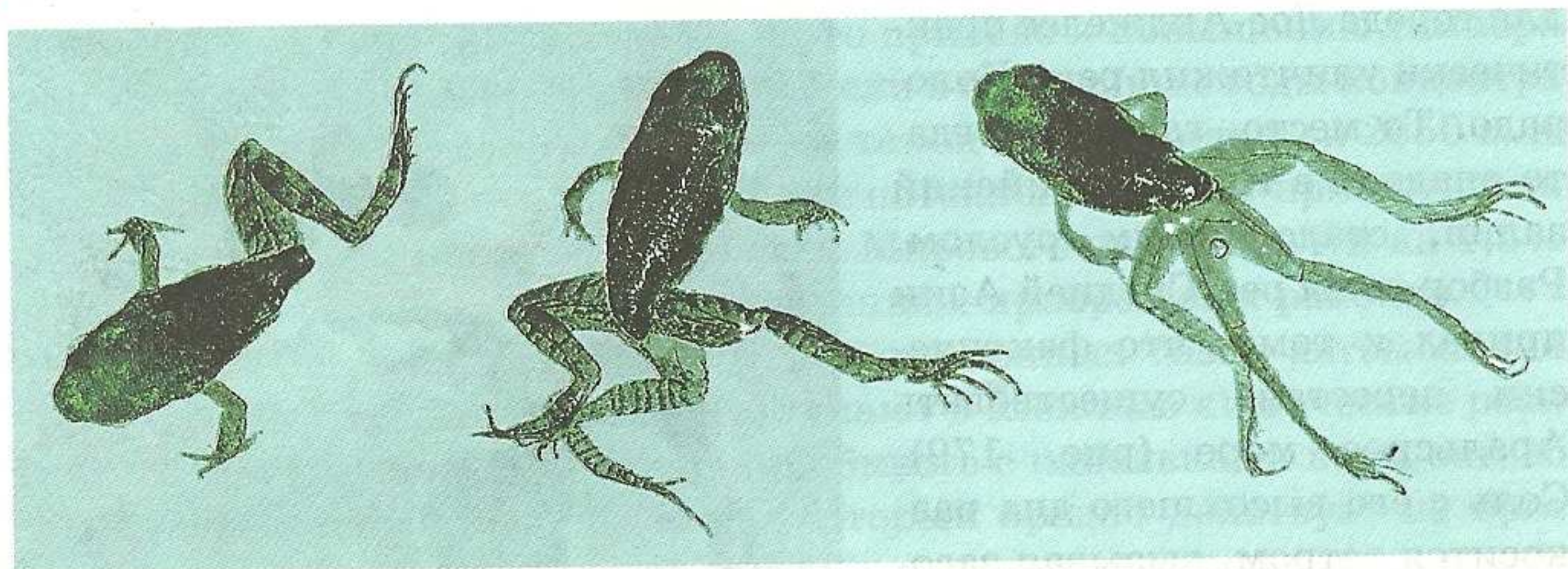


Рис. 180. Дефекты конечностей древесных лягушек, развитие которых проходило в прудах штата Пенсильвания (США), вызваны воздействием пестицидов

ления с тяжелейшими физиологическими и неврологическими последствиями. Многие искусственные органические соединения настолько напоминают природные, что усваиваются организмом, но, включаясь в обмен веществ, полностью нарушают его нормальное функционирование. В результате возникают заболевания почек, печени, бесплодие и многие другие физиологические расстройства. Особенно опасны ядовитые соединения, которые не разлагаются и, проходя через пищевые цепи, накапливаются в организмах. ■

■ В начале 1970-х гг. в маленьком рыбацком поселке Минамата в Японии произошла трагедия. Химическое предприятие сбрасывало отходы, содержащие ртуть, в воду. Ртуть оседала на дно, поглощалась бактериями, а затем, постепенно концентрируясь, проходила по уровням пищевой цепи и накапливалась в рыбе. Еще за несколько лет до выяснения причин трагедии люди стали замечать, что в поселке у кошек часто случались судороги, которые приводили к частичному параличу, а позднее к смерти. Сначала думали, что это какая-то специфическая кошачья болезнь, но вскоре подобные симптомы стали появляться у людей. Появились случаи умственной отсталости, психические расстройства и врожденные дефекты. К тому времени, когда выяснили причину (острое ртутное отравление) и ситуацию взяли под контроль, погибло уже более 50 человек и еще 150 стали инвалидами. Ртуть попадала в организм человека с рыбой. Кошки пострадали первыми, потому что питались в основном только рыбой.

Загрязнение и истощение почвы. Плодородная почва — это один из важнейших ресурсов человечества, обеспечивающий производство продуктов питания. Верхний плодородный слой почвы формируется в течение длительного времени, однако разрушиться может очень быстро. Ежегодно вместе с урожаем из почвы изымается огромное количество минеральных соединений — основных компонентов питания растений. Если не вносить удобрения, в течение 50—100 лет может произойти полное *истощение почвы*.

Самое разрушительное влияние на почву оказывает *эрозия*. Распашивание степей, уничтожение лесов, избыточный выпас скота делают почву незащищенной, и верхний слой смывается водой (водная эрозия) или уносится ветром (ветровая эрозия). Унесенная с поверхности земли почва засоряет русла рек, вызывая нарушения структуры водных экосистем. При поливном земледелии избыточное орошение в условиях жаркого климата приводит к *засолению почв*. ■

В настоящее время вся территория нашей планеты в той или иной степени подвержена антропогенному влиянию. Быстрый рост народонаселения требует постоянного расширения производства. Строительство городов и промышленных предприятий, развитие сельского хозяйства и разработка полезных ископаемых привели к тому, что уже практически 20% суши полностью преобразованы человеком. Истощаются запасы полезных ископаемых, которые относятся к невозобновляемым природным ресурсам. Загрязнение атмосферы и природных вод, эрозия и истощение почв, разрушение природных экосистем может привести человечество к экологической катастрофе. Именно поэтому все большую актуальность приобретают природоохранные мероприятия, направленные на сохранение биосферы.

■ Археологи выяснили, что упадок многих древних цивилизаций был вызван не внешними причинами и не войнами, а медленным экологическим самоубийством — неспособностью сохранять свои земельные и водные ресурсы. Потеря почвенного плодородия привела к упадку некогда процветающую цивилизацию майя в Центральной Америке. Северная Африка, когда-то кормившая всю Римскую империю, сегодня представляет собой в основном пустыню.

Вопросы для повторения и задания

1. Что является причиной и каковы последствия загрязнения атмосферы?

2. Как сказывается хозяйственная деятельность человека на структуре и плодородии почвы?
3. К каким последствиям приводит загрязнение вод Мирового океана?
4. Каково прямое влияние человека на растительный и животный мир Земли?
5. Какое воздействие на биогеоценозы и биосферу в целом оказывает расширение сельскохозяйственного производства?

5.12. Пути решения экологических проблем

Вспомните!

Какие экологические проблемы считают глобальными? Региональными?

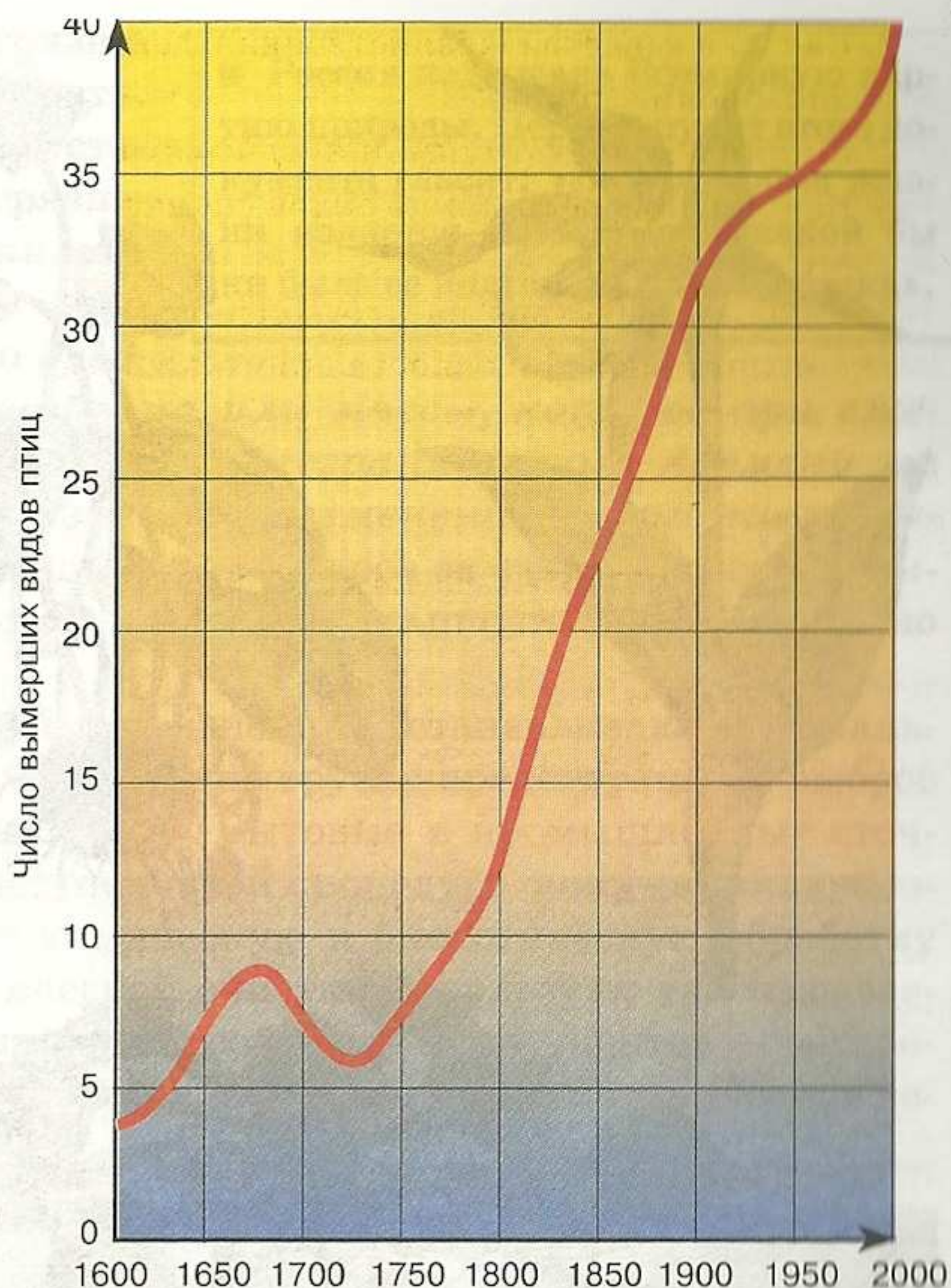
Охрана окружающей среды — общее дело всего человечества. По мере роста населения и масштабов производства экологические последствия хозяйственной деятельности людей становились все более ощутимыми, а площади нетронутых природных территорий неуклонно сокращались. В середине XX в. общество впервые начало ощущать угрозу глобального загрязнения окружающей среды. С началом промышленной и аграрной революции значительно увеличилась скорость вымирания видов (рис. 181). Состояние биосферы уже нельзя было воспринимать как некий компромисс между целями и средствами их достижения. Необходимо было срочно отказаться от потребительского отношения к природе и принять меры по охране окружающей среды. В 60—70-е гг. XX в. начало активно развиваться *природоохранное движение*.

Охрана окружающей среды — это поддержание устойчивого состояния биосферы, при котором ее абиотические параметры не ухудшаются, а виды не сокращаются в своей численности и, тем более, не вымирают. Развитие современного общества должно осуществляться в соответствии с концепцией *устойчивого развития*, т. е. удовлетворение потребностей сегодняшнего дня может и должно происходить без вступления в конфликт с природными законами.

Предельно ясно, что сбалансированное развитие человечества возможно только в мировом масштабе. Трудно охранять природную среду, заботиться о чистоте воды, почвы и воздуха только в одном отдель-



Рис. 181. Увеличение числа вымерших видов птиц (с 1600 по 2000 г.)



но взятом регионе. Биосфера — это совокупность всех экосистем, взаимодействующих между собой. Нарушения в одной из них вызовут изменения в остальных. Для биосферы не существует государственных и иных административных границ. Поэтому охрана среды и рациональное природопользование — это общее дело всего человечества, успешность которого зависит от развития науки и от совместных усилий правительств и общественности. В 1948 г. был создан Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП), который издает Красную книгу редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и животных (рис. 182). Начиная с 1971 г. ЮНЕСКО осуществляет международную программу «Человек и биосфера». Каждый житель планеты должен стремиться сохранять и приумножать богат-

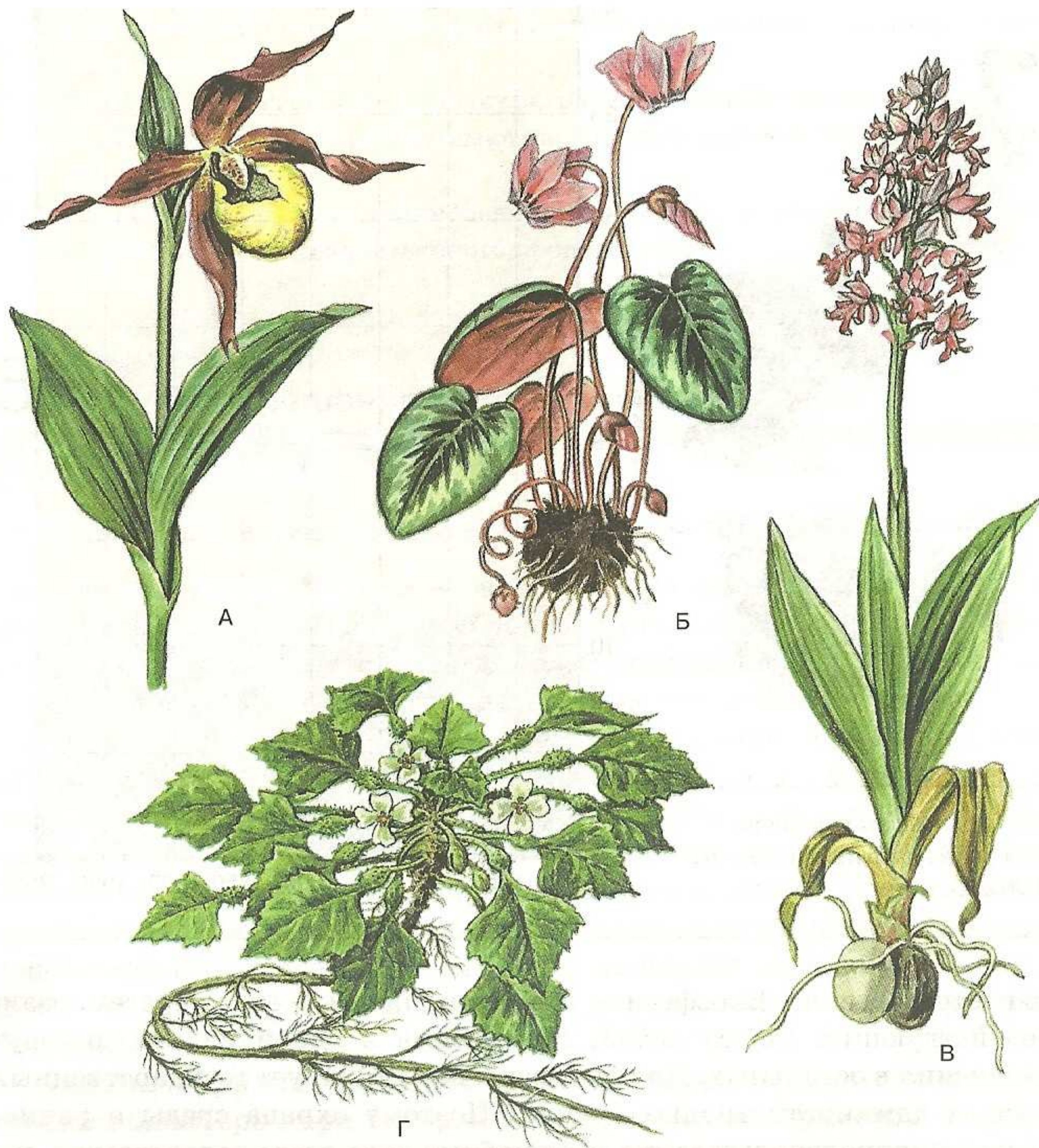


Рис. 182. Редкие виды растений: А — венерин башмачок; Б — цикламен колхидский; В — ятрышник шлемоносный; Г — водяной орех, или чилим

ство окружающего мира, того мира, чьим полноправным членом является он сам. ■

Развитие промышленности и энергетики. Современная промышленность должна развиваться с учетом экологических требований, по-

тому что предотвратить загрязнение легче, чем их ликвидировать. Существуют законодательно установленные критерии загрязнения. **Предельно допустимая концентрация (ПДК)** — это

максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме человека. Промышленное предприятие, которое за счет выбросов вызывает загрязнение окружающей среды с превышением ПДК, должно быть закрыто.

■ Россия подписала Всемирную хартию природы. Первый пункт этого документа гласит: «Любая форма жизни является уникальной, какой бы ни была ее полезность для человека».

Для того чтобы уменьшить загрязнения, устанавливают специальные очистные сооружения. Фильтры на трубах предотвращают выброс в атмосферу многих вредных газов. Бытовые и промышленные сточные воды подвергают многоступенчатой процедуре очистки, включающей механическую, физико-химическую и биологическую обработку (рис. 183). На этапе биологической очистки используют так называемый активный ил, представляющий собой смесь редуцентов — микроорганизмов, которые в ходе питания перерабатывают органические ве-



Рис. 183. Сооружения по очистке воды

щества сточных вод. Усовершенствование автомобильных двигателей и установка специальных фильтров снижает выброс в воздух угарного газа и углеводородов. Разрабатывают и внедряют современные технологии комплексной переработки сырья, которые позволяют свести к минимуму образование отходов.

Уменьшить загрязнение среды можно путем перехода на новые, более «чистые» источники энергии. Например, использование в автомобилях в качестве топлива сжиженного газа или этилового спирта, внедрение электромобилей. Сжигание на теплоэлектростанциях природного газа вместо угля значительно снижает выбросы диоксида серы.

Современное человечество образует огромное количество отходов, многие из которых содержат ценные вещества. Переработка отходов и повторное их использование позволяет значительно экономить энергию и природные ресурсы. Например, использование металлолома вместо железной руды или макулатуры для производства бумаги. Значительная часть мусора представляет собой органические вещества, которые можно подвергнуть биоразложению. В ходе этого процесса образуется горючий газ метан, который можно использовать в качестве топлива.

Примером международного сотрудничества в области охраны природы является международное соглашение, принятое большинством стран, о запрете на использование хлорфторуглеводородов — веществ, разрушающих озоновый слой.

Развитие сельского хозяйства. Развитие современного сельского хозяйства должно быть направлено на повышение урожайности и продуктивности, что позволит решить одну из основных проблем — как накормить человечество, не увеличивая площадь земель, занятых под сельскохозяйственные угодья. С этой целью селекционеры выводят новые сорта растений, более продуктивные и устойчивые к заболеваниям. Осуществляют правильную организацию севооборотов, вводят смешанное культивирование, при котором на полях выращивается одновременно несколько видов растений. Развивают биологические методы борьбы с вредителями, что позволяет значительно снизить применение ядохимикатов.

Важной проблемой является борьба с эрозией почвы. Для того чтобы предупредить уничтожение верхнего плодородного слоя, землю распахивают поперек склонов; таким образом вода, стекающая вниз, задерживается бороздами. Вокруг полей высаживают деревья и кус-

тарники, формируя полевые защитные полосы, которые препятствуют ветровой эрозии.

Сохранение природных экосистем. Устойчивое функционирование биосферы возможно только при сохранении природного разнообразия (§ 4.12). С этой целью во всем мире создаются заповедники, заказники, национальные парки и другие охраняемые природные территории, на которых категорически запрещена всякая хозяйственная деятельность. В настоящее время на территории России и других стран СНГ насчитывается более 150 заповедников и 10 национальных парков, которые служат не только для сохранения существующих природных сообществ, но и для увеличения численности исчезающих видов, акклиматизации новых видов и одомашнивания диких животных, обладающих ценными хозяйственными качествами. В результате природоохранных мер восстановлена численность бобра, сайгака, белой цапли, лося и многих других животных, которые еще недавно находились под угрозой исчезновения.

Некоторые виды пушных зверей были переселены в новые районы, куда самостоятельно они перебраться не могли, т. е. ареал обитания этих видов значительно расширился. Так, дальневосточную енотовидную собаку и пятнистого оленя поселили в европейской части России, зайца-русака — в степях Сибири. Больших успехов удалось добиться в восстановлении численности соболя. Это было достигнуто многолетним запретом добычи, тщательной охраной и искусственным расселением. В России успешно прижилась североамериканская ондатра, известная своим ценным мехом. На Дальнем Востоке акклиматизировалась американская норка, имеющая важное промысловое значение.

Большой вклад в сохранение исчезающих видов вносят работы по искусственному разведению животных, которые осуществляются во всех крупных зоопарках мира. Потомство, рожденное в неволе, требует специальной адаптации к природным условиям, что сопряжено с определенными трудностями. Однако успехи на этом поприще позволяют надеяться, что подобная практика поможет сохранить вымирающие виды. ■

Подобная природоохранная деятельность приносит позитивные результаты, и есть надежда, что глобальные экологические проблемы человечества будут реше-

■ В 1949 г. дикая популяция гавайской казарки сократилась до 12 птиц. Программа разведения в неволе обеспечила сохранение вида, и в настоящее время в исходное местообитание удалось вернуть 3 тыс. птиц.

ны. Однако следует отчетливо представлять, что успех в решении этих проблем зависит от всех и каждого. Нельзя рассчитывать, что твой голос, твой поступок или твое равнодушие окажется незначимым и не повлияет на состояние всей природы в целом. Большое складывается из малого. Глобальная биосфера состоит из отдельных экосистем, каждая из которых в свою очередь складывается из десятков и сотен тысяч особей многих видов. Разрушенный муравейник, собранный букет полевых цветов, срубленное дерево, вымытая на берегу пруда машина, браконьерская охота — все это губит природу. Современный житель Земли должен понимать, что его собственная жизнь и жизнь его потомков зависит от него самого. Каждый из нас, формируя в себе самом и окружающих грамотное экологическое сознание, способен изменить ситуацию. Экологическое сознание подразумевает бережное отношение к природе, которое позволит сохранить окружающую среду и всю биосферу в целом для будущих поколений людей.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое предельно допустимые концентрации (ПДК)?
2. Какие способы снижения загрязнения окружающей среды используют на промышленных предприятиях?
3. Известны ли вам какие-либо международные соглашения, направленные на решение общих экологических проблем?
4. Расскажите, что вам известно о работе природоохранных организаций, направленной на сохранение исчезающих видов.

Вопросы для обсуждения

Глава

«Экосистема»

«Экологические факторы»

1. Объясните происхождение слова «экология».
2. Какие климатические условия и почва характерны для вашего региона?
3. Как вы думаете, почему при постоянном направленном изменении абиотических условий среды приспособление живых организмов к этим изменениям не может быть бесконечным?
4. Почему на птицефермах и в тепличном хозяйстве применяют дополнительное искусственное освещение, увеличивающее длину светового дня?

5. Участвуют ли сами организмы в формировании абиотической среды? Выскажите свое мнение.
6. Как вы считаете, в растительном или животном царстве чаще встречаются симбиотические взаимоотношения?

«Структура экосистем»

1. Назовите общие черты биогеоценозов лиственного леса и пресноводного водоема.
2. Почему конкурентные взаимоотношения существуют на одном трофическом уровне?
3. Какие признаки паразитов способствовали их биологическому прогрессу?
4. Какое значение для устойчивости экосистемы имеет ее видовое разнообразие?

«Биосфера — глобальная экосистема»

1. Каково влияние живых организмов на глобальные круговороты веществ в природе?
2. К какому типу веществ биосферы можно отнести янтарь, сброшенные рога оленя, опавшие листья, торф, пыльцу растений, паутину?
3. Охарактеризуйте организмы, которые обитают вблизи границ биосферы. Как вы считаете, какими свойствами должны обладать такие организмы?

«Биосфера и человек»

1. Зачем во всех цивилизованных странах мира создаются правительственные экологические структуры и чем, по вашему мнению, они должны руководствоваться в своей деятельности?
2. Можно ли предотвратить экологическую катастрофу на Земле? Какую роль в этом играет международное сотрудничество?
3. Нужно ли определять ПДК канцерогенов?
4. Многие виды, а также целые сообщества находятся под угрозой исчезновения. Предложите возможные меры по их сохранению. Предложите возможные пути решения экологических проблем вашего региона.
5. К каким отрицательным экологическим последствиям приводит сооружение на реках каскада гидроэлектростанций?

Заключение

Курс общей биологии завершает изучение биологии в школе. Позади остались природоведение и ботаника, зоология и анатомия, лабораторные практикумы и контрольные работы, тесты и доклады, экскурсии и выступления на конференциях.

Никто из вас не вспомнит дословно все то, что за эти годы рассказывали вам учителя, то, что вы читали в учебниках, нашли в Интернете или слышали в сообщениях одноклассников. Да это и не нужно. Самое главное, чтобы, узнавая законы природы, знакомясь с ее многообразием, сложностью и удивительной хрупкостью, вы поняли, что ее дальнейшее существование зависит лично от вас.

Независимо от того, какую специальность вы выберете, где будете учиться и работать, ваша жизнь будет неразрывно связана с биологией — одной из ведущих наук современности.

Собственное здоровье и здоровье будущих детей, возможность продления человеческой жизни и современные достижения медицины, трансгенные организмы и клонирование, экологические проблемы и охрана окружающей среды — все эти вопросы так или иначе касаются каждого из нас.

Многие биологические явления еще ждут своих исследователей. Возникновение жизни на Земле, происхождение и эволюция человека — вопросы, на которые еще нет однозначных ответов.

Стремительное сокращение биологического разнообразия, разрушение экосистем, загрязнение окружающей среды, возникновение новых заболеваний — для скорейшего решения этих и других проблем современности необходима интеграция знаний и достижений всех наук и людей всех специальностей, составляющих вместе единое целое — человечество.

Предметный указатель

А

абиогенез 262
 австралопитеки 293
 агроценоз 334
 адаптации биохимические 242
 — морфологические 239
 — общие 239
 — поведенческие 244
 — специальные 239
 — физиологические 243
 аллель 143
 альбинизм 172
 анафаза 106
 анафаза I 118
 анафаза II 119
 анемия серповидноклеточная 172
 антропогенез 282
 аппарат Гольджи 60
 ареал вида 220
 — популяции 223
 архантропы 293
 ассимиляция 13, 95
 атавизмы 256
 атмосфера 337
 аутосомы 159

Б

бактериофаг 81
 бацилла 69
 белки 42
 биогенез 263

биогеоценоз 320
 биология клеточная 27
 биополимер 38
 биосфера 320, 336
 биотехнология 183
 биотоп 321
 биоценоз 319, 321
 биоэлементы 30
 биоэтика 190
 бластула 125
 болезнь наследственная 171
 — генная 172
 — Дауна 173
 — хромосомная 173
 борьба за существование 215
 — — внутривидовая 215
 — — межвидовая 215
 — — с неблагоприятными факторами внешней среды 215
 брожение 97

В

вакуоль 62
 вещество биогенное 337
 — биокосное 337
 — гидрофильное 34
 — гидрофобное 34
 — живое 337
 — жироподобное 40
 — косное 337
 — органическое 37

взаимоотношения пищевые 326

вибрионы 69

вид 217

видообразование 247

— географическое 248

— пути 247

— способы 247

— экологическое 250

вирус 79

ВИЧ (вирус иммунодефицита
человека) 81—84

включения 58

влажность 310

волны популяционные 228, 230

воски 40

Г

гамета 111, 113

гаметогенез 113

гастрола 125

гемофилия 172

ген 50, 75, 137, 143

— аллельный 142

— эукариот 155

геном 155

геномика 154

генотип 137, 155

генофонд 218, 226

гетерозис (гибридная сила) 182

гетерополимеры 38

гиалоплазма 58

гибридизация (скрещивание)
180

— внутривидовая 180

— отдаленная 180

гидросфера 337

гипотеза 20

— вечности жизни 264

— панспермии 264

— самопроизвольного
зарождения жизни 262

— стационарного состояния 264

гликоген 42

гликолиз 96

глюкоза 41

гомеостаз 13, 95

гомополимеры 38

гормон 46

группа сцепления 151

Д

движение природоохранное 358

дезоксирибоза 41

денатурация 46

детрит 327

диапазон выносливости 306

диморфизм половой 112

диполь 33

дисахариды 41

диссимилиация 13, 94

ДНК 48

— вирусная 79

— кольцевая 70

— функции 50

дожди кислотные 352

докембрий 274

доминирование 140

дрейф генов 230

дриопитеки 290

дробление 125

дыра озоновая 354

дыхание клеточное 97

Е

единица эволюции элементарная
221, 226

Ж

жиры нейтральные 39

З

загрязнение атмосферы 352

— водоемов 355

закон 20

— единообразия
(доминирования, первый
закон Менделя) 140

— минимума Либиха 308

— Моргана 151

— наследования
благоприобретенных
признаков (закон Ламарка)
203

— независимого наследования
(третий закон Менделя) 149

— расщепления (второй закон
Менделя) 142

— сцепленного наследования
(закон Моргана) 151

— упражнения и неупражнения
органов (закон Ламарка) 203

— чистоты гамет 144

звено трофическое (пищевое)
327

зигота 120

зона оптимума 306

— стрессовая (угнетения) 306

зооценоз 321

И

изменчивость 137, 164

— комбинативная 166

— мутационная 166

— наследственная
(генотипическая) 166, 228

— ненаследственная
(модификационная) 164

— неопределенная
(индивидуальная) 213

— определенная (групповая)
212

— фенотипическая 164

изоляция 228, 231

— пространственная 231

— экологическая 231, 250

индукция эмбриональная 127

инженерия генная 184

интерфаза 104

информация генетическая 74

исключение конкурентное 317

К

каннибализм 316

капсид 79

капсула 71

кариотип 66

карты генетические 153

клетка 24

— прокариотическая 26, 68

— эукариотическая 26, 53

клон 109

клонирование 186

коацерваты 270

код генетический 74

кокки 69

колонии 93
комплекс Гольджи 60
комплементарность 50
конкуренция внутривидовая 317
— межвидовая 317
консультирование медико-генетическое 175
консументы (потребители) 322, 325
концентрация предельно допустимая (ПДК) 361
космополит 220
крахмал 42
креационизм 198, 262
криптозой 275
критерий вида 219
— — биохимический 220
— — генетический 219
— — географический 220
— — морфологический 219
— — физиологический 220
— — экологический 220
кроманьонцы 295
круговорот воды 341
— углерода 342

Л

лейкопласты 62
лизосомы 61
липиды 38
листки зародышевые 125
литосфера 337
люди древнейшие 293
— древние 295
— современные 295

М

макроэлементы 29
маскировка 241
материал эволюционный 227
мезодерма 125
мейоз 111
мембрана 56, 70
метаболизм 13, 95
метаморфоз 128
метафаза 106
метафаза I 118
метафаза II 119
метод 19
— гибридиологический 139
— исторический 19
— моделирования 19
— наблюдения 19
— описательный 19
— селекции — гибридизация 180
— селекции — отбор 180
— сравнительный 19
— экспериментальный 19
микробоценоз 321
микроэлементы 30
мимикрия 242
митоз (митотическое деление) 106
митохондрии 61
млекопитающие насекомоядные 290
— первые плацентарные 290
модель жидкостно-мозаичная 57
мономеры 38
моносахариды 41
мутагены 169
— биологические 169

- физические 169
- химические 169
- мутации 166
 - генеративные 167, 171
 - генные 167
 - геномные 168
 - соматические 167, 171
 - хромосомные 168

Н

- набор хромосом гаплоидный 67
 - — диплоидный 67
- нарушение экологическое 333
- наследование, сцепленное с полом 162
- наследственность 137
- нация 298
- неандертальцы 295
- неоантропы 295
- ниша экологическая 308
- ноосфера 342, 344
- норма реакции 166
- нуклеоид 70

О

- обмен веществ и энергии 13, 94, 95
 - пластический 13, 95
 - энергетический 13, 94
- оболочка ядерная 64
 - дополнительная 79
- овогенез 144
- окраска покровительственная 239
 - предостерегающая (угрожающая) 241

- онтогенез 14, 124
- оплодотворение 120
 - внешнее (наружное) 120
 - внутреннее 121
 - двойное 122
 - искусственное 123
 - перекрестное 120
- организмы автотрофные 98
 - анаэробные 95
 - аэробные 95
 - гермафродитные 111
 - гетерозиготные 143
 - гетеротрофные 98
 - гомозиготные 143
 - двуполые 111
 - миксотрофные 99
 - многоклеточные 92
 - одноклеточные 91
 - раздельнополые 111
 - теплокровные 310
 - трансгенные (генетически модифицированные) 184
 - холонокровные 309
- органогенез 125
- органогены 30
- органы аналогичные 256
 - гомологичные 255
- органойды 58
 - двухмембранные 59
 - мембранные 58
 - немембранные 58
 - одномембранные 58
- отбор 180
 - естественный 216, 228, 232
 - индивидуальный 180
 - искусственный 213
 - — бессознательный 214

- — методический 214
- массовый 180
- охрана окружающей среды 358

П

- палеоантропы 295
- паразитизм 316
 - временный 317
 - постоянный 317
- паразиты внутренние 317
 - наружные 317
 - необязательные 317
 - обязательные 317
- парапитеки 290
- партеногенез 122
- перерасход воды 354
- период антропогеновый
 - (антропоген) 281
 - девонский (девон) 277
 - дорепродуктивный 135
 - каменноугольный (карбон) 277
 - кембрийский (кембрий) 276
 - меловой (мел) 280
 - неогеновый
 - (верхнетретичный) 281
 - ордовикский (ордовик) 276
 - палеогеновый
 - (нижнетретичный) 281
 - пермский (пермь) 278
 - пострепродуктивный 135
 - постэмбриональный 128
 - репродуктивный 135
 - силурийский (силур) 276
 - старения 135
 - триасовый (триас) 279
 - эмбриональный (эмбриогенез) 125
 - юрский (юра) 279
- пирамида экологическая 327
- плазмиды 71
- пластиды 62
- плейотропия 157
- плотность популяции 223, 321
- поведение пищевое 326
- пол гетерогаметный 159
 - гомогаметный 159
- полипептиды 42
- полиплоидизация 250
- полиплоидия 168
- полирибосомы 62
- полисахариды 42
- популяция 221, 226
- порода 179
- почвы засоление 357
 - истощение 357
 - эрозия 357
- почкование 110
- правила 20
- правило Чаргаффа 49
- пределы выносливости 306
- признак доминантный 140
 - рецессивный 140
- принцип корреляции 205
- пробионты 270
- прогресс биологический 251
- продукция вторичная 322
 - первичная 321
- продуценты (производители) 321, 324
- просадка грунта 355
- протеины 43
- профаза 106

профаза I 118

профаза II 118

Р

равновесие динамическое 330

развитие

— внутриутробное 129

— неличиночное 129

— не прямое (личиночное) 128

— постэмбриональное 134

— прямое 128

— с метаморфозом 128

— устойчивое 358

— эмбриональное 130

— яйцекладное 129

размножение 108

— бесполое 108

— вегетативное 110

— половое 108, 111

разнообразие видовое 321

раса 296

— австрало-негроидная
(экваториальная) 298

— азиатско-американская
(монголоидная) 297

— большая 297

— евразийская (европеоидная)
297

— малая 297

— происхождение 298

расщепление 140

регресс биологический 252

регуляция численности 224

редупликация 50

редуценты (разлагатели) 322,
325

резерв изменчивости 229

ренатурация 47

ретровирус 82

рефлекс 15

решетка Пеннета 147

рибоза 41

рибосомы 62, 71

ритмичность 15

ритмы биологические 312

РНК 52

— вирусная 79

— информационная (иРНК) 53

— матричная (мРНК) 53

— рибосомальная (рРНК) 53

— транспортная (тРНК) 52

рождаемость 223

рост неопределенный 129

— определенный 129

рудименты 256

С

самооплодотворение 120

саморегуляция 13

сахароза 41

свет 312

связи пищевые 322

селекция 177

сеть пищевая 327

— эндоплазматическая (ЭПС) 59

— — агранулярная 59

— — гладкая 59

— — гранулярная 59

— — шероховатая 59

симбиоз 318

синдром Дауна 173

— Клайнфельтера 173

— «кошачьего крика» 173

— Патау 173

— плода алкогольный 133
 — Шерешевского – Тернера 173
 синтез матричный 78
 скрещивание анализирующее 149
 — дигибридное 146
 — моногибридное 140
 смертность 223
 смог 354
 соединения высоко-
 молекулярные 38
 — гидрофильные 34
 — гидрофобные 34
 — низкомолекулярные 38
 сок ядерный 64
 сообщество 319
 сорт 179
 спектр видимая часть 312
 — инфракрасная часть 312
 — ультрафиолетовая часть 312
 сперматогенез 114
 сперматозоид 114
 СПИД (синдром приобретенного
 иммунодефицита) 81
 спирали 69
 спорообразование 109
 споры бактерий 69
 способность к самоподдержанию 321
 среда обитания 305
 стабильность генетическая 107
 стенка клеточная 70
 структура белка 43
 — — вторичная 43
 — — первичная 43
 — — третичная 43
 — — четвертичная 44

структура популяции
 возрастная 224
 — — половая 225
 структура экосистемы видовая 321
 — — пространственная 320
 — — экологическая 321
 сходство экосистем структурное 322

Т

телофаза 106
 телофаза I 118
 телофаза II 119
 температура 309
 теория 20
 — биопоэза 267
 — биохимической эволюции 266
 — катастроф 203
 — клеточная 24, 27
 — наследственности хромосомная 151
 — эволюции синтетическая 217
 терапия генная 176
 точка оптимума 306
 транскрипция 52, 75, 76
 трансляция 76, 77
 трансформизм 200

У

углеводы 41
 ультрамикрорэлементы 32
 уровень биогеоценотический (экосистемный) 18
 — биосферный (глобальный) 18

- клеточный 16
- молекулярно-генетический 16
- организменный (онтогенетический) 18
- органный 16
- популяционно-видовой 18
- тканевый 16
- трофический (пищевой) 327
- устойчивость экосистемы 330
- учение о биосфере 336
 - о градации организмов 201
 - о естественном отборе 214
 - об изменчивости 202
 - об искусственном отборе 211

Ф

- фаза фотосинтеза световая 100
 - — темновая 101
- факторы абиотические 305
 - антропогенные 305
 - биотические 305
 - мутагенные 168
 - ограничивающие (лимитирующие) 307
 - эволюции 228
 - экологические 305
- факты 20
- фанерозой 275
- фенилкетонурия 172
- фенотип 138
- ферменты 44
- филогенез 14, 258
- фитоценоз 321
- форма отбора движущая 233
 - — стабилизирующая 236

- форма переходная 257
- фотопериодизм 312
- фотосинтез 99
- фрагментация 110
- фруктоза 41

Х

- хитин 42
- хищничество 314
- хлоропласты 62
- хроматиды 105
- хроматин 64, 65
- хромопласты 62
- хромосомы 65
 - гомологичные 67
 - неполовые (аутосомы) 159
 - половые 159

Ц

- целесообразность относительная адаптаций 246
- целлюлоза 42
- центр клеточный 62
- центромера 66
- цепь детритная 327
 - пастбищная 327
 - пищевая 327
- цикл жизненный 103
- цитология 25
- цитоплазма 58

Ч

- человек гейдельбергский 293
 - прямоходящий (*Homo erectus*) 293

- разумный (*Homo sapiens*) 295
- умелый (*Homo habilis*) 293
- численность общая 223
- популяции 223
- эффективная 224

Ш

- штамм 179
- шизогония 109

Э

- эволюция 196
- биологическая 271, 273
- экология 304
- экосистема 304, 320
- эктодерма 125
- эмбриогенез 125
- эндемик 220
- энтодерма 125
- зоны 274
- криптозой (докембрий) 274
- фанерозой 275

- эры 274
- архейская (архей) 274
- кайнозойская (кайнозой) 280
- мезозойская (мезозой) 278
- палеозойская (палеозой) 275
- протерозойская (протерозой) 275

эрозия генетическая 254

- почвы 357

этап энергетического обмена
бескислородный 96

- — — кислородный 97

- — — подготовительный 95

эффект «бутылочного
горлышка» 230

- парниковый 353

Я

явление эволюционное
элементарное 227

ядро 63

ядрышко 64

яйцеклетка 114

Именной указатель**А**

Авиценна (Абу Али Ибн Сина) 8
Анаксагор 197
Анаксимандр 197, 282
Аристотель 8, 197, 217, 282
Аррениус С. А. 264
Ауэрбах Ш. 138

Б

Баев А. А. 154
Бернал Д. Д. 267
Берцелиус Й. 205
Бируни (Абу Рейхан Мухаммед
Ибн Ахмет аль-Бируни) 8
Бонне Ш. 196
Броун Р. 24
Бэр К. М. 9, 24, 205

В

Вавилов Н. И. 177
Везалий А. 9
Вейсман А. 25
Вернадский В. И. 10, 264, 336,
339, 340, 342, 344
Винклер Г. 155
Вирхов Р. 25

Г

Гален К. 8, 19, 282
Гарвей У. 9, 24
Геккель Э. 304

Гельмонт В. 263

Геродот 282

Герцен А. В. 208

Гёте И. В. 200

Гиппократ 8, 197

Гольджи К. 60

Гук Р. 24, 200

Д

Дарвин Ч. 9, 25, 209—217,
232, 239, 247, 283, 284, 317
Дарвин Э. 200
Демокрит 197, 282
Дидро Д. 200
Диоген 197

Ж

Жакар А. 300

З

Зюсс Э. 336

И

Ивановский Д. И. 79

К

Каверзнев А. А. 200, 208, 283
Кант И. 205, 283
Карпеченко Г. Д. 182
Ковалевский В. О. 258

Конфуций 196
Кох Р. 10
Крик Ф. 10, 49
Кювье Ж. 9, 203, 205, 207

Л

Лайель Ч. 207
Ламарк Ж. Б. 9, 201, 283, 336
Лаплас П. С. 205
Левенгук Антони ван 24, 68
Леонардо да Винчи 9
Леруа Э. 344
Либих Ю. 308
Линней К. 9, 199, 217, 282

М

Майр Э. 247
Мальтус Т. 208, 215
Мангольд Х. 127
Мендель Г. И. 9, 19, 138
Мечников И. И. 10
Миклухо-Маклай Н. Н. 299
Миллер С. 269
Мишер И. Ф. 47
Монбоддо Дж. 283
Морган Т. Х. 10, 151

О

Опарин А. И. 266

П

Павлов И. П. 10
Пастер Л. 10, 263
Пеннет Р. 147, 150
Пифагор 197

Портер К. Р. 59
Пристли Д. 101

Р

Радищев А. Н. 208, 283
Реди Ф. 263
Робертсон В. 56
Робине Ж. Б. 283
Рулье К. Ф. 200, 209

С

Сеченов И. М. 10, 19
Смит А. 208
Сократ 282
Спалланцани Л. 263

Т

Тереховский М. М. 263
Тимирязев К. А. 101
Тревиранус Г. Р. 12

У

Уоллес А. Р. 216
Уорд Р. 300
Уотсон Д. 10, 49, 154

Ф

Фалес 197
Флеминг А. 10
Фриз (Гуго де Фриз) 10, 166

Х

Холдейн Д. 266

Ч

Чаргафф Э. 48

Ш

Шарден П. Т. 344

Шванн Т. 9, 24, 25, 27, 205

Шлейден М. Я. 9, 24, 25, 205

Шмальгаузен И. И. 10

Шпеман Х. 127

Э

Эмпедокл 282

Энгельгард В. А. 12

Энгельс Ф. 12, 25, 73, 284

Я

Янсен З. 24

Оглавление

Как работать с учебником 3

Введение 4

Глава 1. Биология как наука. Методы научного познания 6

1.1. Краткая история развития биологии 8

1.2. Сущность жизни и свойства живого 11

1.3. Уровни организации живой материи. Методы биологии 15

Глава 2. Клетка 22

2.1. История изучения клетки. Клеточная теория 24

2.2. Химический состав клетки 28

2.3. Неорганические вещества клетки 33

2.4. Органические вещества. Общая характеристика. Липиды 37

2.5. Органические вещества. Углеводы. Белки 41

2.6. Органические вещества. Нуклеиновые кислоты 47

2.7. Эукариотическая клетка. Цитоплазма. Органоиды 53

2.8. Клеточное ядро. Хромосомы 63

2.9. Прокариотическая клетка 68

2.10. Реализация наследственной информации в клетке 73

2.11. Неклеточная форма жизни: вирусы 79

Глава 3. Организм 88

3.1. Организм — единое целое. Многообразие организмов 90

3.2. Обмен веществ и превращение энергии. Энергетический обмен .. 93

3.3. Пластический обмен. Фотосинтез 98

3.4. Деление клетки. Митоз 102

3.5. Размножение: бесполое и половое 108

3.6. Образование половых клеток. Мейоз 113

3.7. Оплодотворение 120

3.8. Индивидуальное развитие организмов 124

3.9. Онтогенез человека. Репродуктивное здоровье 130

3.10. Генетика — наука о закономерностях наследственности
и изменчивости. Г. Мендель — основоположник генетики 136

3.11. Закономерности наследования. Моногибридное скрещивание ... 140

3.12. Закономерности наследования. Дигибридное скрещивание 146

3.13. Хромосомная теория наследственности 150

3.14. Современные представления о гене и геноме 154

3.15. Генетика пола 158

3.16. Изменчивость: наследственная и ненаследственная 164

3.17. Генетика и здоровье человека 170

3.18. Селекция: основные методы и достижения	176
3.19. Биотехнология: достижения и перспективы развития	183
Глава 4. Вид	194
4.1. Развитие биологии в додарвиновский период. Работа К. Линнея .	196
4.2. Эволюционная теория Ж. Б. Ламарка	201
4.3. Предпосылки возникновения учения Чарлза Дарвина	205
4.4. Эволюционная теория Чарлза Дарвина	209
4.5. Вид: критерии и структура	217
4.6. Популяция как структурная единица вида	221
4.7. Популяция как единица эволюции	225
4.8. Факторы эволюции	228
4.9. Естественный отбор — главная движущая сила эволюции	232
4.10. Адаптации организмов к условиям обитания как результат действия естественного отбора	238
4.11. Видообразование как результат эволюции	247
4.12. Сохранение многообразия видов как основа устойчивого развития биосферы	251
4.13. Доказательства эволюции органического мира	254
4.14. Развитие представлений о происхождении жизни на Земле	262
4.15. Современные представления о возникновении жизни	266
4.16. Развитие жизни на Земле	273
4.17. Гипотезы происхождения человека	282
4.18. Положение человека в системе животного мира	285
4.19. Эволюция человека	290
4.20. Человеческие расы	296
Глава 5. Экосистема	302
5.1. Организм и среда. Экологические факторы	304
5.2. Абиотические факторы среды	309
5.3. Биотические факторы среды	313
5.4. Структура экосистем	319
5.5. Пищевые связи. Круговорот веществ и энергии в экосистемах . .	326
5.6. Причины устойчивости и смены экосистем	330
5.7. Влияние человека на экосистемы	333
5.8. Биосфера — глобальная экосистема	336
5.9. Роль живых организмов в биосфере	339
5.10. Биосфера и человек	344
5.11. Основные экологические проблемы современности	352
5.12. Пути решения экологических проблем	358
Заключение	366
Предметный указатель	367
Именной указатель	377

Учебное издание

Сивоглазов Владислав Иванович

Агафонова Инна Борисовна

Захарова Екатерина Тимофеевна

БИОЛОГИЯ. ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ. БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

Учебник для 10—11 классов
общеобразовательных учреждений

Ответственный редактор *И. Б. Морзунова*

Оформление *М. Г. Мицкевич*

Макет *М. Г. Мицкевич*

Художники *А. В. Пряхин, П. А. Жиличкин,*

О. И. Руновская, Б. А. Гомон

Художественный редактор *М. Г. Мицкевич*

Технический редактор *Н. И. Герасимова*

Компьютерная верстка *Г. М. Татарина*

Корректор *Л. И. Романкова*

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.009733.08.09 от 18.08.2009.

Подписано к печати 10.06.10. Формат 70 × 90 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 28,08. Тираж 35 000 экз. Заказ № 683.

ООО «Дрофа». 127018, Москва, Суцевский вал, 49.

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

Учебник для 10–11 классов
соответствует базовому уровню
Федерального компонента
государственного стандарта
общего образования по биологии,
рекомендован Министерством
образования и науки РФ,
включен в Федеральный
перечень учебников.

ISBN 978-5-358-08851-1



дрофа